

ALFONSO RODRIGO TIERRA CRIOLLO

COMPARAÇÃO DA PRECISÃO DOS MÉTODOS CINEMÁTICOS  
PARA DISTÂNCIAS MENORES A DEZ QUILOMETROS

Dissertação apresentada como  
requisito parcial à obtenção do  
grau de Mestre em Ciências. Curso  
de Pós-Graduação em Ciências  
Geodésicas, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1993

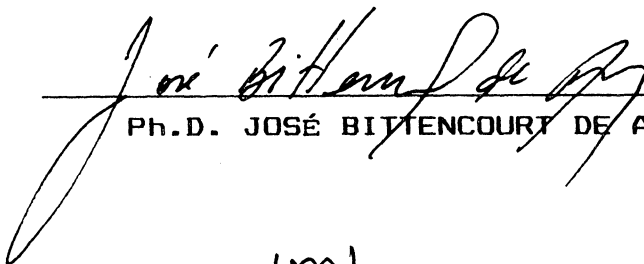
ALFONSO RODRIGO TIERRA CRIOLLO

COMPARAÇÃO DA PRECISÃO DOS MÉTODOS CINEMÁTICOS  
PARA DISTÂNCIAS MENORES A DEZ QUILOMETROS

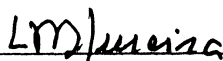
Dissertação aprovada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação  
em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do  
Paraná, pela Comissão formada pelos professores :



DR. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS. - ORIENTADOR



Ph.D. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE. - EXAMINADOR



DR. LUIZ DANILO DAMASCENO FERREIRA. - EXAMINADOR

Curitiba, 04 de Novembro de 1993

## DEDICATÓRIA

Para las personas que estando distantes siempre estan  
connigo a cada instante. Mi Familia.

## AGRADECIMENTOS

Desejo externar os meus sinceros agradecimentos :  
ao Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos, orientador do  
presente trabalho;  
aos colegas Cláudia Perreira Krueger, Silvío Jacks dos  
Anjos Garnés, bem como aos alunos de engenharia da UFPR, Franco  
Amato, James Pedrozo Pinto, Mauricio D'Amato e Roberto de  
Freitas Filho, que prestaram uma grande ajuda quando  
necessitada;  
a CAPES pelo auxílio financeiro.

## SUMÁRIO

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| LISTA DE FIGURAS.....                      | viii  |
| LISTA DE GRÁFICOS.....                     | ix    |
| LISTA DE QUADROS.....                      | x     |
| LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS.....            | xi    |
| LISTA DE TABELAS.....                      | xv    |
| RESUMO.....                                | xvii  |
| ABSTRACT.....                              | xviii |
| RESUMEN.....                               | xix   |
| 1 INTRODUÇÃO.....                          | 1     |
| 2 SISTEMA NAVSTAR-GPS.....                 | 3     |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....                        | 3     |
| 2.2 OBJETIVOS DO SISTEMA.....              | 4     |
| 2.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA.....           | 5     |
| 2.4 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....        | 6     |
| 2.5 SEGMENTOS DO SISTEMA.....              | 7     |
| 2.5.1 O segmento espacial.....             | 8     |
| 2.5.2 O segmento de controle.....          | 11    |
| 2.5.3 O segmento dos usuários.....         | 12    |
| 2.6 SINAIS TRANSMITIDOS.....               | 13    |
| 2.6.1 Sinais dos códigos.....              | 14    |
| 2.6.2 Sinais de mensagem de navegação..... | 15    |
| 2.6.3 Sinais da portadora.....             | 16    |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3 A FASE DA PORTADORA.....                                                          | 17 |
| 3.1 EQUAÇÕES DE DIFERENÇA DE FASE DA PORTADORA<br>PARA POSICIONAMENTO RELATIVO..... | 24 |
| 3.1.1 Simples diferença de fase.....                                                | 25 |
| 3.1.2 Dupla diferença de fase.....                                                  | 28 |
| 3.1.3 Tripla diferença de fase.....                                                 | 30 |
| 4 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO CINEMÁTICO RELATIVO.....                                | 32 |
| 4.1 MÉTODOS DE INICIALIZAÇÃO.....                                                   | 32 |
| 4.1.1 Intercâmbio de antenas.....                                                   | 33 |
| 4.1.1.1 O modelo matemático.....                                                    | 35 |
| 4.1.2 Linha base conhecida.....                                                     | 36 |
| 4.1.2.1 O modelo matemático.....                                                    | 37 |
| 4.2 OS MÉTODOS CINEMÁTICOS.....                                                     | 37 |
| 4.2.1 O método interrompido.....                                                    | 38 |
| 4.2.1.1 O modelo matemático.....                                                    | 39 |
| 4.2.2 O método contínuo.....                                                        | 41 |
| 4.2.2.1 O modelo matemático.....                                                    | 41 |
| 4.3 O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO.....                                                 | 42 |
| 4.3.1 O modelo matemático.....                                                      | 43 |
| 5 TRABALHO DE CAMPO.....                                                            | 44 |
| 5.1 ÁREA DO LEVANTAMENTO.....                                                       | 44 |
| 5.2 EQUIPAMENTO.....                                                                | 47 |
| 5.3 PLANEJAMENTO.....                                                               | 48 |
| 5.4 COLETA DE DADOS DE CAMPO.....                                                   | 51 |
| 5.4.1 Transporte de coordenadas.....                                                | 51 |
| 5.4.2 Inicialização.....                                                            | 52 |
| 5.4.2.1 O método estático regular.....                                              | 52 |
| 5.4.2.2 O método de linha base conhecida.....                                       | 53 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4.2.2.1 Execução do método.....                                            | 53  |
| 5.4.2.3 O método de intercâmbio de antenas.....                              | 54  |
| 5.4.2.3.1 Execução do método.....                                            | 55  |
| 5.5 EXECUÇÃO DOS MÉTODOS CINEMÁTICOS.....                                    | 56  |
| 5.5.1 Execução do método interrompido.....                                   | 56  |
| 5.5.2 Execução do método contínuo.....                                       | 61  |
| 5.5.3 Execução do método pseudo-cinemático.....                              | 64  |
| 6 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                       | 66  |
| 6.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....                                             | 68  |
| 6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                                              | 76  |
| 6.2.1 No Centro Politécnico.....                                             | 76  |
| 6.2.2 Na Fazenda Canguiri.....                                               | 83  |
| 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....                                            | 89  |
| 7.1 CONCLUSÕES.....                                                          | 89  |
| 7.2 RECOMENDAÇÕES.....                                                       | 91  |
| ANEXO 01 COORDENADAS EM WGS-84 DO PILAR "PARA" NO<br>CENTRO POLITÉCNICO..... | 93  |
| ANEXO 02 PLANEJAMENTO.....                                                   | 94  |
| ANEXO 03 LISTAGENS DO PROCESSAMENTO DE DADOS.....                            | 99  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                              | 118 |

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01 CONFIGURAÇÃO ORBITAL COM OS 21 SATÉLITES
- FIGURA 02 OBSERVAÇÃO DE FASE DA PORTADORA
- FIGURA 03 SIMPLES DIFERENÇA DE FASE
- FIGURA 04 DUPLA DIFERENÇA DE FASE
- FIGURA 05 TRIPLA DIFERENÇA DE FASE
- FIGURA 06 O MÉTODO DE INTERCÂMBIO DE ANTENAS
- FIGURA 07 O MÉTODO INTERROMPIDO
- FIGURA 08 DISTRIBUIÇÃO DOS MARCOS EXISTENTES NO CENTRO  
POLITÉCNICO
- FIGURA 09 DISTRIBUIÇÃO DOS PILARES EXISTENTES NA FAZENDA  
CANGUIRI



## LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 01 DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE O MÉTODO INTERROMPIDO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO)
- GRÁFICO 02 DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE O MÉTODO INTERROMPIDO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO)
- GRÁFICO 03 DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE O MÉTODO CONTÍNUO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO)
- GRÁFICO 04 DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE O MÉTODO CONTÍNUO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO)
- GRÁFICO 05 DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO)
- GRÁFICO 06 DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO)
- GRÁFICO 07 DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE OS MÉTODOS CINEMÁTICOS COM O ELTA 2 (F.CANGUIRI)
- GRÁFICO 08 DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE OS MÉTODOS CINEMÁTICOS COM O MA100 (F.CANGUIRI)
- GRÁFICO 09 DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE OS MÉTODOS CINEMÁTICOS E O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO (F.CANGUIRI)

## LISTA DE QUADROS

- QUADRO 01 CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SISTEMA NAVSTAR-GPS
- QUADRO 02 RESUMO DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA NAVSTAR-GPS NO DIA  
23/08/1993
- QUADRO 03 SINAIS DO SATÉLITE NAVSTAR-GPS
- QUADRO 04 CADERNETA DE CAMPO PARA O MÉTODO INTERROMPIDO COM  
LINHA BASE CONHECIDA
- QUADRO 05 CADERNETA DE CAMPO PARA O MÉTODO CONTÍNUO COM  
INTERCÂMBIO DE ANTENAS
- QUADRO 06 CADERNETA DE CAMPO PARA O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO
- QUADRO 07 VALORES PARA O RDOP E O RMS

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

|                    |                                                                      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $c$                | Velocidade da luz no vácuo                                           |
| C/A                | Código de fácil acesso "Coarse Access"                               |
| CON-IDA            | Método contínuo com intercâmbio de antenas                           |
| CON-IDA-LBC        | Método contínuo com intercâmbio de antenas e linha<br>base conhecida |
| CON-LBC            | Método contínuo com linha base conhecida                             |
| DG                 | Distância geométrica                                                 |
| DESNIV             | Desnível                                                             |
| DI.IN              | Distância inclinada                                                  |
| DOP                | Diluição de precisão                                                 |
| $D\phi(T)$         | Fase da portadora num instante $T$                                   |
| $D\phi_{obs}(T)$   | Fase fracional da portadora num instante $T > 1$ ciclo               |
| $D\phi_{obs}(T_0)$ | Fase fracional da portadora no instante $T_0 < 1$ ciclo              |
| DNSS               | Defense Navigation Satellite System                                  |
| ELTA 2             | Distanciômetro                                                       |
| EM                 | Estação de monitoramento                                             |
| EPC                | Estação principal de controle                                        |
| $f_0$              | Frequência fundamental                                               |
| $f_g$              | Frequência gerada pelo receptor                                      |
| $f_r$              | Frequência recebida pelo receptor                                    |
| $f_s$              | Frequência nominal da portadora transmitida pelo<br>satélite         |
| GPS                | Global Positioning System                                            |
| $h$                | Altura geométrica                                                    |

|             |                                                                       |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
| H.I.        | Altura da antena fixa                                                 |
| H.I.m       | Altura da antena móvel                                                |
| IDA1        | Inicialização do intercâmbio de antenas da primeira visita            |
| IDA2        | Inicialização do intercâmbio de antenas da segunda visita             |
| ID          | Identificação do ponto                                                |
| INT-IDA     | Método interrompido com intercâmbio de antenas                        |
| INT-IDA-LBC | Método interrompido com intercâmbio de antenas e linha base conhecida |
| INT-LBC     | Método interrompido com linha base conhecida                          |
| LBC1        | Inicialização de linha base conhecida da primeira visita              |
| LBC2        | Inicialização de linha base conhecida da segunda visita               |
| L1          | Portadora L1                                                          |
| L2          | Portadora L2                                                          |
| MA100       | Telurômetro                                                           |
| Mbps        | Megabits por segundo                                                  |
| MHz         | Megahertz                                                             |
| N           | Número inteiro de ciclos ou Ambigüidade                               |
| NAVSTAR     | Navigation System with Time And Ranging                               |
| NI050       | Nível                                                                 |
| NNSS        | Navy Navigation Satellite System                                      |
| P           | Código preciso                                                        |
| PDOP        | Diluição de precisão tridimensional                                   |
| PRN         | Pseudo Random Noise                                                   |
| PSE-CIN     | Método pseudo-cinemático                                              |

|                                                  |                                                         |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>RDOP</b>                                      | <b>Diluição de precisão relativa</b>                    |
| <b>RMS</b>                                       | <b>Root mean square</b>                                 |
| <b><math>SD\Delta\phi</math></b>                 | <b>Simples diferença de fase</b>                        |
| <b><math>DD\Delta\phi</math></b>                 | <b>Dupla diferença de fase</b>                          |
| <b><math>TD\Delta\phi</math></b>                 | <b>Tripla diferença de fase</b>                         |
| <b>SA</b>                                        | <b>Selective Availability</b>                           |
| <b>WGS</b>                                       | <b>World Geodetic System</b>                            |
| <b>T</b>                                         | <b>Instante qualquer</b>                                |
| <b>To</b>                                        | <b>Instante em que se realiza a primeira observação</b> |
| <b>TP</b>                                        | <b>Tempo real de propagação</b>                         |
| <b>tr</b>                                        | <b>Instante de recepção na escala do tempo GPS</b>      |
| <b>tr<sub>1</sub></b>                            | <b>Instante de recepção no tempo GPS para a época 1</b> |
| <b>tr<sub>2</sub></b>                            | <b>Instante de recepção no tempo GPS para a época 2</b> |
| <b>TS</b>                                        | <b>Instante de sintonização</b>                         |
| <b>tt</b>                                        | <b>Instante de transmissão na escala de tempo GPS</b>   |
| <b>X<sub>A</sub></b>                             | <b>Coordenadas cartesianas da estação no WGS-84</b>     |
| <b>X<sup>j</sup></b>                             | <b>Coordenadas cartesianas do satélite no WGS-84</b>    |
| <b>0<sup>h</sup>UT</b>                           | <b>Zero horas do tempo universal</b>                    |
| <b><math>\Delta\phi</math></b>                   | <b>A fase da portadora em unidade de comprimento</b>    |
| <b><math>\Delta\phi_S</math></b>                 | <b>Variação da fase do sinal transmitido</b>            |
| <b><math>\Delta X, \Delta Y, \Delta Z</math></b> | <b>Diferenças de coordenadas cartesianas em WGS-84</b>  |
| <b><math>\phi</math></b>                         | <b>Latitude</b>                                         |
| <b><math>\phi_G</math></b>                       | <b>Fase gerada pelo receptor</b>                        |
| <b><math>\phi_R</math></b>                       | <b>Fase recebida pelo receptor</b>                      |
| <b><math>\phi_S</math></b>                       | <b>Fase transmitida pelo satélite</b>                   |
| <b><math>\lambda</math></b>                      | <b>Comprimento de onda da portadora</b>                 |
| <b><math>\Lambda</math></b>                      | <b>Longitude</b>                                        |

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| $\omega_1$    | Frequência de L1                      |
| $\omega_2$    | Frequência de L2                      |
| $\delta_{RA}$ | Efeitos devido à refração atmosférica |
| $\delta_R$    | Ruídos nas observações                |

## LISTA DE TABELAS

|           |                                                                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TABELA 01 | RESULTADOS DAS DISTÂNCIAS E DESNÍVEIS DO POSICIONAMENTO ESTÁTICO GPS (C.POLITÉCNICO)                |
| TABELA 02 | RESULTADOS DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PILARES (F.CANGUIRI)                                             |
| TABELA 03 | RESULTADOS DOS DESNÍVEIS ENTRE OS PILARES (F.CANGUIRI)                                              |
| TABELA 04 | RESULTADOS DO MÉTODO INTERROMPIDO COM LINHA BASE CONHECIDA (C.POLITÉCNICO)                          |
| TABELA 05 | RESULTADOS DO MÉTODO INTERROMPIDO COM INTERCÂMBIO DE ANTENAS (C.POLITÉCNICO)                        |
| TABELA 06 | RESULTADOS DO MÉTODO CONTÍNUO COM LINHA BASE CONHECIDA (C.POLITÉCNICO)                              |
| TABELA 07 | RESULTADOS DO MÉTODO CONTÍNUO COM INTERCÂMBIO DE ANTENAS (C.POLITÉCNICO)                            |
| TABELA 08 | RESULTADOS DO MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO (C.POLITÉCNICO)                                              |
| TABELA 09 | RESULTADOS DO MÉTODO INTERROMPIDO COM LINHA BASE CONHECIDA E INTERCÂMBIO DE ANTENAS (F.CANGUIRI)    |
| TABELA 10 | RESULTADOS DO MÉTODO CONTÍNUO COM LINHA BASE CONHECIDA E INTERCÂMBIO DE ANTENAS (F.CANGUIRI)        |
| TABELA 11 | RESULTADOS DO MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO (F.CANGUIRI)                                                 |
| TABELA 12 | DIFERENÇAS ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS COM O POSICIONAMENTO CINEMÁTICO E O ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO) |

TABELA 13 DIFERENÇAS ENTRE RESULTADOS OBTIDOS COM O  
POSICIONAMENTO CINEMÁTICO E O DISTANCIÔMETRO ELTA 2,  
E O TELURÔMETRO MA100 (F.CANGUIRI)

TABELA 14 DIFERENÇAS ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS COM O  
POSICIONAMENTO CINEMÁTICO E O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO  
(F.CANGUIRI)



## RESUMO

O objetivo deste trabalho é mostrar, descrever, e aplicar os métodos cinemáticos interrompido, contínuo e pseudo-cinemático. Utilizou-se para as observações a fase da portadora L1, e para o processamento foi utilizado um modelo matemático baseado na dupla diferença de fase. Os resultados foram comparados com o método estático e com métodos de levantamentos terrestres convencionais. A análise dos resultados mostra que se pode obter precisão ao nível do centímetro.

## ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to show, describe, and apply the stop and go, continuos, and pseudo-kinematic techniques. For the observations was used the carrier phase L1, and for post-processing was used the mathematical model based on the double phase diference. The survey result was compared with static technique and with an classical terrestrial survey. The analysis of results shows that one can get accuracy in centimeter level.

## RESUMEN

El objetivo de esta disertación es mostrar, describir, y aplicar los métodos cinemáticos interrumpido, continuo, e pseudo-cinemático. Para las observaciones se utilizó la fase de la portadora L1, y para el post-procesamiento o modelo matemático utilizado fué la dupla diferencia de fase. Los resultados fueron comparados con los del método estático, y con los de levantamientos terrestres convencionales. El análisis de los resultados muestra que se puede llegar a obtener una precisión al nivel del centímetro.

## 1. INTRODUÇÃO.

Com o avanço da tecnologia espacial, a geodésia ganha uma potente ferramenta no desempenho de alguns de seus objetivos.

Com o sistema NAVSTAR-GPS, é possível o posicionamento de pontos, independente das condições meteorológicas, a qualquer hora e em qualquer lugar, mediante o rastreamento de satélites que por sua configuração é o mínimo de quatro.

Por volta do ano de 1980, o potencial do uso de fase da portadora no posicionamento estático para geodésia foi reconhecido e em 1985 Remondi introduz o posicionamento cinemático com medições de fase da portadora.

Desde então, vários métodos diferentes têm sido desenvolvidos, tendo como propósito principal a determinação de pontos com maior precisão, menor tempo e maior economia.

Existem vários métodos para posicionar pontos. Um destes é conhecido como Posicionamento Cinemático Relativo. Este consiste em determinar a posição de um ponto desconhecido com relação a outro previamente determinado.

Os métodos de posicionamento cinemático relativo que foram executados são : Interrompido (Stop and Go), Contínuo e Pseudo-cinemático (Pseudo-kinematic). Os métodos interrompido e contínuo, precisam da realização de uma etapa inicial para a

determinação prévia dos valores inteiros das ambigüidades, e então continuar com o posicionamento cinemático. Para a etapa de inicialização utilizou-se o método de Intercâmbio de Antenas e o método de Linha Base Conhecida. Os objetivos destes métodos são o de posicionar um número maior de pontos num curto período de tempo e com boa precisão.

O objetivo deste trabalho foi comparar a precisão que se obtém com estes métodos rápidos, comparados com o método estático e com levantamentos terrestres convencionais.

Os métodos cinemáticos mencionados, foram executados nos marcos existentes no Campus do Centro Politécnico da UFPr, e nos pilares que constituem a base de aferição para distanciômetros na Fazenda Experimental Canguiri.

Para a coleta de dados utilizou-se dois receptores da TRIMBLE pertencentes a UFPr/CPCG, e o processamento foi realizado utilizando o software TRIMVEC desenvolvido pela Trimble. Para a execução do trabalho utilizou-se a fase da portadora L1 e o modelo matemático empregado foi da Dupla Diferença de Fase.

## 2. SISTEMA NAVSTAR-GPS

### 2.1 INTRODUÇÃO.

A concepção da navegação utilizando sinais de rádio enviados por satélites artificiais teve sua origem com o lançamento do satélite SPUTNIK I da Rússia (ex-URSS), que ocorreu no dia 04 de Outubro de 1957. Com o estudo do efeito Doppler descobriram que a variação deste efeito é comparável à medida da variação da distância entre as fontes emissora e receptora dos sinais. A partir daí, ocupando pontos de coordenadas conhecidas, conseguiram determinar a órbita dos satélites. Posteriormente demonstrou-se que esta técnica poderia ser utilizada ao reverso, isto é, conhecida a órbita dos satélites pode-se conhecer a posição do receptor.

Isto levou à criação do "Navy Navigation Satellite System" (NNSS) ou sistema TRANSIST pelo Estados Unidos da América do Norte. A partir de 1967 quando este sistema tornou-se disponível para o uso civil, houve uma contribuição para o avanço da Geodésia e Ciências afins, bem como, na navegação.

Depois da aceitação do NNSS, a proliferação de sistemas de satélites aumentou com a finalidade de satisfazer necessidades tanto civis quanto militares. Por este motivo, foi criado o "Defense Navigation Satellite System" (DNSS) para

investigar a praticabilidade de sistemas de satélites para comunicação, transfêrencia precisa de tempo e controle de tráfego aéreo.

Posteriormente, a Força Aérea e a Marinha dos Estados Unidos da América do Norte, desenvolveram dois projetos que satisfaziam suas exigências; estas foram : O Sistema 621B da Força Aérea, e a TIMATION da Marinha. Com a fusão dos dois projetos , resultou o projeto final do sistema, que recebeu o nome de NAVSTAR-GPS "Navigation System with Time And Ranging " - "Global Positioning System".

## 2.2 OBJETIVOS DO SISTEMA.

O sistema foi criado basicamente para atender as necessidades existentes pelas partes interessadas; os objetivos iniciais foram :

- 1) Precisão da ordem do centímetro para posicionamento;
- 2) Exata determinação da velocidade e tempo;
- 3) Disponibilidade contínua de dados de navegação;
- 4) Base para o estabelecimento de um referencial global;
- 5) Cobertura global e regional;
- 6) Potencial generalizado de navegação para minimizar a proliferação de sistemas para fins espaciais ou de cobertura regional;
- 7) Observação simultânea de pelos menos 4

satélites visíveis acima do horizonte em qualquer região e a qualquer momento e

8) Independência das condições meteorológicas.

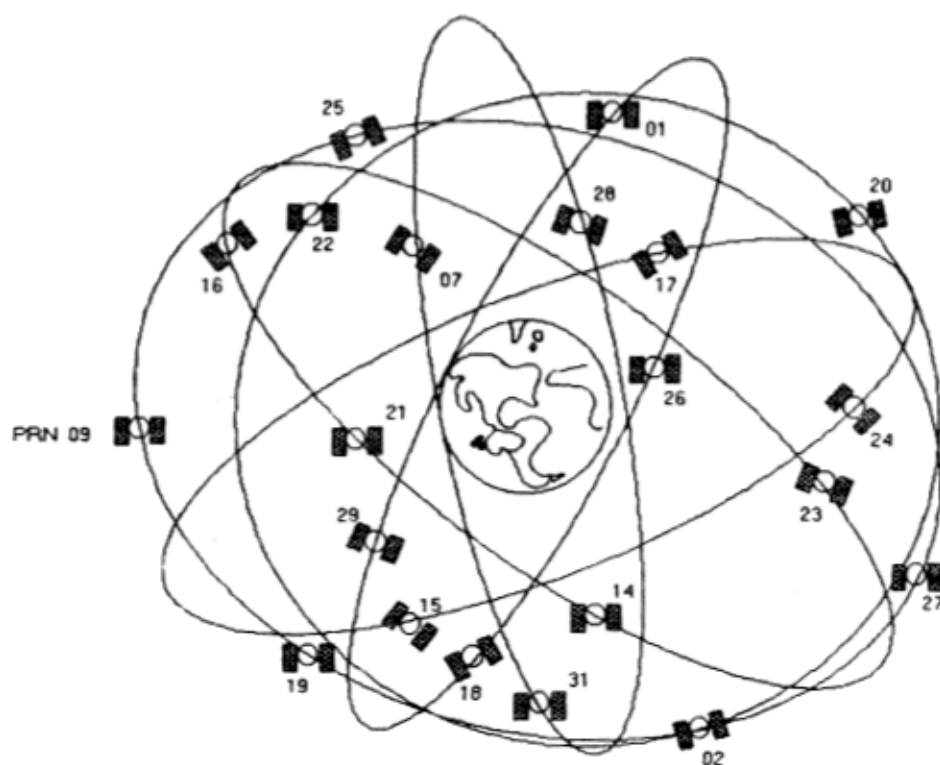
## 2.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA.

A concepção original do sistema NAVSTAR-GPS, passou por alterações, procurando-se adaptar aos objetivos iniciais do projeto e às novas circunstâncias surgidas com o amadurecimento do mesmo (ANDRADE, 1988), (SEEKER, 1993), (SEEKER, 1986), (WELLS, 1987).

A configuração final deve estar completa pelos anos de 1993/1994 (SEEKER, 1993). Este sistema consistirá numa constelação final de 24 satélites, sendo 21 operacionais e 3 de reserva. A figura 01 mostra a configuração orbital com os 21 satélites.



FIGURA 01 - CONFIGURAÇÃO ORBITAL COM OS 21 SATÉLITES



#### 2.4 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.

O sistema completo terá as características mostradas no Quadro 01.

**QUADRO 01 - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SISTEMA NAVSTAR-GPS****NAVSTAR-GPS**

- 21 Satélites operacionais e 3 em reserva.
- Órbita: quase circular.
- 6 planos orbitais com 4 satélites em cada uma.
- Inclinação dos planos orbitais:  $55^{\circ}$  aproximadamente.
- Separação da ascensão reta entre dois planos orbitais:  $60^{\circ}$ .
- Altitude : 20200 Km, aproximadamente.
- Período orbital: 12 horas siderais.
- Repetibilidade da geometria: Todos os dias, com 4 minutos a menos do dia anterior com respeito ao Tempo Universal.
- Portadoras de rádio frequência de 1575,42 MHz e 1227,6 MHz.
- Dados de Navegação: (4D) x,y,z,t; velocidade.
- Relógios atômicos de Rubídio e Césio à bordo dos satélites.

**2.5 SEGMENTOS DO SISTEMA.**

O sistema NAVSTAR-GPS consiste em três segmentos:

- 1) Segmento Espacial - os satélites.
- 2) Segmento de Controle - as estações terrestres.

### 3) Segmento dos Usuários - receptores.

Neste item, será apresentada uma descrição sucinta dos segmentos do sistema. Para um melhor conhecimento teórico do assunto, o leitor pode recorrer as referências (ANDRADE, 1988), (SEEKER, 1993), (WELLS, 1987).

#### 2.5.1 O segmento espacial.

O projeto NAVSTAR-GPS foi previsto para se desenvolver em três blocos:

BLOCO I : Neste bloco, foram lançados 11 satélites numerados do 1 ao 11 entre os anos de 1978 e 1985 com um ângulo de inclinação dos planos orbitais de  $63^{\circ}$  (ANDRADE, 1988), (SEEKER, 1993). O tempo de vida previsto para estes satélites foi de 5 anos, mas alguns ainda estão operacionais. Uma vantagem deste bloco é que os sinais não estão sujeitos a mudanças, assim sendo estes satélites não são afetados pela ativação da Disponibilidade Selectiva (S.A) "Selective Availability" (SEEKER, 1993).

BLOCO II : Os primeiros satélites deste bloco, foram lançados a partir do ano de 1989 em duas etapas, conhecidos como Bloco II e Bloco IIA, completando assim, a constelação final de 24 satélites (21 operacionais e 3 de reserva). A construção desta constelação é adicionada aos satélites já existentes do Bloco I (JONES, 1989)<sup>1</sup>. A vida útil destes satélites é de 7,5 anos.

---

<sup>1</sup> Jones, Thomas. NAVSTAR-GPS. Status and Update. In: International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, 5, Las Cruces, 1989. Citado por SEEKER (1993, p. 212).

BLOCO IIR: Este bloco será desenvolvido a partir de 1995. Vinte satélites serão lançados e serão conhecidos como satélites do Bloco IIR cuja missão será a de substituir os satélites do Bloco II quando for necessário. As características principais dos satélites deste Bloco (SEEBER, 1993), são:

- 1) Capacidade de medir as distâncias entre os satélites (Crosslink ranges).
- 2) Capacidade de calcular as efemérides a bordo.

O Quadro 02, mostra o estado atual da constelação, correspondentes aos satélites disponíveis no dia 23 de agosto de 1993 para Curitiba.

**QUADRO 02 - RESUMO DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA NAVSTAR-GPS NO  
DIA 23/08/1993**

| BLOCO<br>SEQUENCIA | SATÉLITE               | CÓDIGO<br>PRN | POSICÃO<br>ORBITAL  | ATIVADO<br>DESATIVADO |
|--------------------|------------------------|---------------|---------------------|-----------------------|
| <b>BLOCO I</b>     |                        |               |                     |                       |
| I-1                | 01                     | 04            |                     | D                     |
| I-2                | 02                     | 07            |                     | D                     |
| I-3                | 03                     | 06            |                     | D                     |
| I-4                | 04                     | 08            |                     | D                     |
| I-5                | 05                     | 05            |                     | D                     |
| I-6                | 06                     | 09            |                     | D                     |
| I-7                | 07                     |               | FALHA NO LANÇAMENTO |                       |
| I-8                | 08                     | 11            |                     | D                     |
| I-9                | 09                     | 13            | C-1                 | A                     |
| I-10               | 10                     | 12            | A-1                 | A                     |
| I-11               | 11                     | 03            | C-4                 | A                     |
| <b>BLOCO II</b>    |                        |               |                     |                       |
| II-1               | 14                     | 14            | E-1                 | A                     |
| II-2               | 13                     | 02            | B-3                 | A                     |
| II-3               | 16                     | 16            | E-3                 | A                     |
| II-4               | 19                     | 19            | A-4                 | A                     |
| II-5               | 17                     | 17            | D-3                 | A                     |
| II-6               | 18                     | 18            | F-3                 | A                     |
| II-7               | 20                     | 20            | B-2                 | A                     |
| II-8               | 21                     | 21            | E-2                 | A                     |
| II-9               | 15                     | 15            | D-2                 | A                     |
| <b>BLOCO IIA</b>   |                        |               |                     |                       |
| II-10              | 23                     | 23            | E-4                 | A                     |
| II-11              | 24                     | 24            | D-1                 | A                     |
| II-12              | 25                     | 25            | A-2                 | A                     |
| II-13              | 28                     | 28            | C-2                 | A                     |
| II-14              | 26                     | 26            | F-2                 | A                     |
| II-15              | 27                     | 27            | A-3                 | A                     |
| II-16              | 32                     | 01            | F-1                 | A                     |
| II-17              | 29                     | 29            | F-4                 | A                     |
| II-18              | 22                     | 22            | B-1                 | A                     |
| II-19              | 31                     | 31            | C-3                 | A                     |
| II-20              | 37                     | 07            | C-4                 | A                     |
| II-21              | 39                     | 09            | A-1                 | A                     |
| II-22              | A SER LANÇADO 02-09-93 |               |                     |                       |
| II-23              | A SER LANÇADO 28-10-93 |               |                     |                       |
| II-24              | A SER LANÇADO 02-03-94 |               |                     |                       |

### 2.5.2 O segmento de controle.

Este segmento está constituído por 5 estações de controle espalhadas pelos continentes. Uma destas estações é a Estação Principal de Controle (EPC), localizada em Colorado Springs nos Estados Unidos da América do Norte; 3 Antenas e Estações de Monitoramento (EM), localizados em Kwajalein, Ascención e Diego García; 2 Estações de Monitoramento (EM), localizados no Hawaii e Colorado Springs.

Estas estações têm como objetivos:

- Monitoramento e controle contínuo dos satélites.
- Determinação do sistema de tempo GPS.
- Predição das efemérides e o comportamento dos relógios dos satélites.
- Envio periódico da mensagem de navegação para cada satélite.

As estações de monitoramento (EM) recebem constantemente os sinais de todos os satélites, por tanto, estas estações determinam a pseudo-distância dos satélites visíveis e, juntamente com os dados meteorológicos de cada estação, são transmitidas até a estação principal de controle (EPC). Com estes dados, a EPC calcula as efemérides dos satélites e o comportamento dos relógios, para logo, criar os dados de mensagem de navegação (ver secção 2.6.2). Estes dados de navegação são posteriormente enviados para os satélites.

### 2.5.3 O segmento dos usuários.

Os sinais transmitidos pelos satélites do sistema GPS

(ver secção 2.6) após atravessarem a atmosfera, chegam simultaneamente à antena do receptor. A fim de realizar as medidas, o receptor tem que ser capaz de isolar os diferentes sinais e de identificar o transmissor de cada sinal. Existem vários tipos de receptores os quais podem ser classificados de varias formas. A seguir citam-se os principais grupos.

De acordo com o Tipo de Canal de recepção tem-se:

- O Receptor Multicanal ou receptor de rastreamento contínuo. Estes receptores têm um ou mais canais de recepção; cada canal significa um circuito eletrônico específico para receber continuamente o sinal enviado por um só satélite. Nas observações com GPS é necessário receber simultaneamente o sinal de pelo menos 4 satélites. Receptores modernos podem dispôr de 12 canais (ideal quando a constelação estiver completa).

- O Receptor Sequencial. Este tipo de receptor possui um ou mais canais e, cada canal rastreia sequencialmente sinais de vários satélites.

- O Receptor Multiplex. Este tipo de receptor consiste em sintonizar um satélite por um período de tempo bem curto e, em seguida, o outro, de modo que nenhuma informação seja perdida.

De acordo com o Tipo de Sinal disponível pelo receptor.

- C/A,
- C/A + L1,
- C/A + L1 + L2,
- C/A + P + L1,L2,

- L1,
- L1,L2,
- Combinações lineares de L1 e L2.

Onde : (ver secção 2.6 e capítulo 3.0)

C/A é o código de fácil acesso,

P é o código preciso,

L1,L2 são as portadoras L1 e L2.

De acordo com o Uso os receptores são:

- Militar,
- Civil,
- Navegação,
- De Tempo,
- Geodésicos.

Para maior informação sobre a tecnologia dos receptores e antenas procurar em (MAHER, 1984), (SKEBER, 1993), (WELLS, 1987) ou nos Anais dos Simpósios sobre GPS.

## 2.6 SINAIS TRANSMITIDOS.

Os satélites NAVSTAR-GPS transmitem informações de navegação e identificação, baseadas numa frequência fundamental de 10,23 Mhz produzida por relógios atômicos de Césio e Rubídio.

Existem três tipos de sinais que são emitidos pelos satélites e que são usados nas observações GPS, as quais são conhecidas como :

- 1) Sinais dos Códigos.



2) Sinais de mensagem de Navegação.

3) Sinais da Portadora.

O quadro 03, mostra as características principais destes 3 tipos de sinais.

**QUADRO 03 - SINAIS DO SATÉLITE NAVSTAR-GPS.**

|                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| Frequência Fundamental ( $f_0$ )   | 10,23 MHz       |
| Sinal L1                           | 154 x 10,23 MHz |
| Frequência L1                      | 1575,42 MHz     |
| Comprimento de onda L1             | 19,05 cm        |
| Sinal L2                           | 120 x 10,23 MHz |
| Frequência L2                      | 1227,60 MHz     |
| Comprimento de onda L2             | 24,45 cm        |
| Frequência código P                | 10,23 Mbps      |
| Comprimento de onda do código P    | 29,31 m         |
| Período de repetição do código P   | 267 dias        |
| Frequência código C/A              | 1,023 Mbps      |
| Comprimento de onda do código C/A  | 293,1 m         |
| Período de repetição do código C/A | 1 milisegundo   |
| Frequência do sinal de navegação   | 50 bps          |

#### 2.6.1 Sinais dos códigos.

Neste tipo de sinal, existem dois tipos diferentes de códigos que são usados: o código P conhecido como o Código Preciso e o código C/A "COARSE ACCESS" conhecido como Código de

Fácil Acesso .

Como pode ser observado no Quadro 03 o código P é gerado a uma razão de 10,23 Megabits por segundo (Mbps) e é repetido a cada 267 dias. Todos os satélites geram o mesmo código P, mas cada um transmite um trecho de 7 dias a partir do início da semana que lhe foi atribuído (A meia noite de sábado para domingo 0<sup>h</sup>UT).

No mesmo quadro 03 , pode-se observar que o código C/A é gerado a uma razão de 1,023 Mbps e repete-se aproximadamente a cada milissegundo. Cada satélite possui seu próprio código C/A, que o distingue dos demais.

Para maiores detalhes sobre a estrutura e geração destes códigos, ver SPILKER<sup>1</sup>(1978), FORSELL<sup>2</sup>(1991), FELL<sup>3</sup>(1980).

#### 2.6.2 Sinais de mensagem de navegação.

Este tipo de sinal é gerado na razão de 50 bits por segundo (bps). Um conjunto de 1500 bits compõe um quadro de dados com uma duração de 30 segundos. Cada quadro é composto por cinco sub-quadros.

De uma forma geral, o conteúdo dos subquadros é o seguinte:

O sub-quadro 1, contém os parâmetros para correção do relógio do satélite, o número da semana GPS, o número e saúde do satélite.

---

1,3 Citado por ANDRADE (1988, p. 07)

1,2 Citado por SEEBER (1993, p. 216)

Os sub-quadros 2 e 3, contém as efemérides do satélite e os parâmetros de atualização destas efemérides.

O subquadro 4 contém mensagem para a correção da refração ionosférica.

No subquadro 5 contém o almanaque GPS.

Para maior informação sobre o conteúdo de cada sub-quadro, ver (ANDRADE, 1988), (GEMAEL, 1991), (RODRIGUES, 1989).

### 2.6.3 Sinais da portadora.

Para permitir a medida do efeito da refração ionosférica na propagação das ondas são gerados dois sinais que são obtidos mediante a multiplicação da frequência fundamental  $f_0$ . Assim, a L1 apresenta uma frequência de  $w_1=154 \times f_0$  e a L2 uma frequência de  $w_2=120 \times f_0$ , ver quadro 03.

A portadora L1 é modulada em fase pelos códigos P e C/A e a portadora L2 é modulada em fase só pelo código P.

Estes códigos são gerados por algoritmos que aleatoriamente fazem seus valores mudar em uma sequência binária de +1 a -1 ou vice-versa, e por esse motivo são chamados de Ruídos Falsamente Aleatórios "Pseudo Random Noise" (PRN) (GEMAEL, 1991), (SEEBER, 1993), (WELLS, 1987).

### 3. FASE DA PORTADORA.

Nas aplicações para a geodésia não foram obtidos resultados satisfatórios quando da utilização da pseudo-distância, obtida a partir dos códigos em virtude de seus comprimentos de onda (ver quadro 03). Portanto, para trabalhos de geodésia utiliza-se as portadoras L1 e L2, devido ao fato de que seus comprimentos de onda são menores, 19,05 cm para L1 e 24,45 para L2.

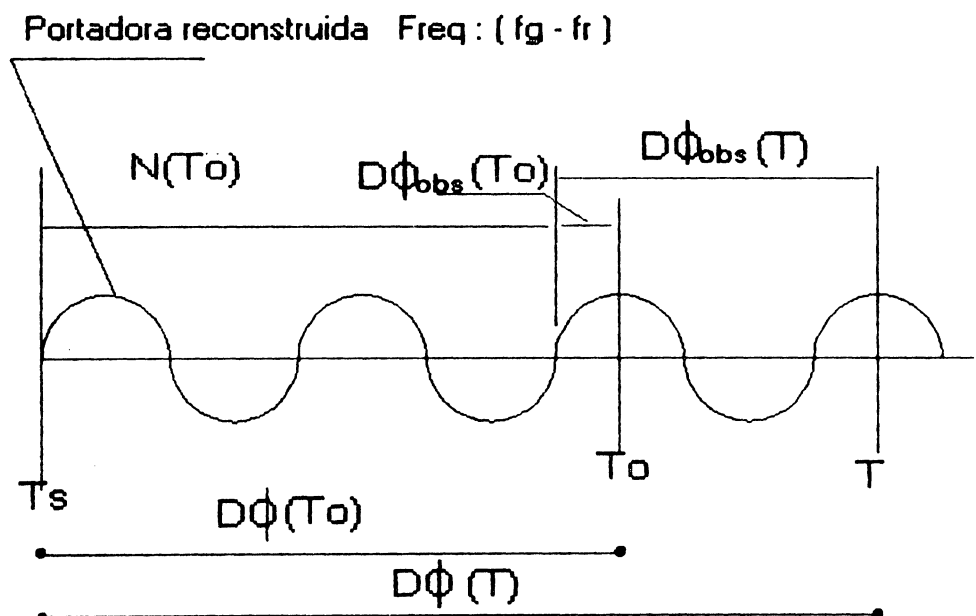
Quando se observa a fase da portadora obtém-se uma precisão equivalente a um centésimo de comprimento de onda (0,01 ciclo) (ANDRADE, 1988), (GEMAEL, 1991), (SEEKER, 1993), (WELLS, 1987).

Um satélite GPS transmite o sinal com uma frequência próxima à frequência nominal de uma portadora e o oscilador do receptor GPS registra o sinal recebido também próximo a frequência nominal. Sabe-se que o sinal é transmitido e recebido continuamente, mas a recepção se dá após a transmissão, com uma diferença de tempo muito pequena.

A diferença entre a frequência recebida ( $f_r$ ) e a frequência gerada ( $f_g$ ) pelo receptor é conhecida como frequência de batimento da portadora ( $f_g - f_r$ ). A fase deste sinal, medida a cada instante, é conhecida como Fase Da Portadora.

A figura 02 mostra geometricamente a observação de fase:

FIGURA 02 - OBSERVAÇÃO DE FASE DA PORTADORA



onde:

$T_s$  é o instante de sintonização, ou seja, o instante em que o receptor forma pela primeira vez, o sinal de frequência de batimento  $(f_g - f_r)$ ,

$T_0$  é o instante em que é realizada a primeira medida, após  $T_s$ ,

$T$  um instante qualquer, quando a medida é realizada,

$D\phi_{obs}(T_0)$  é a fase fracionária da portadora medida no instante  $T_0$  (menor que 1 ciclo),

$D\phi_{obs}(T)$  é a fase fracionária da portadora medida no instante  $(T)$  (maior que 1 ciclo),

$D\phi(T_0)$  a fase da portadora num instante  $T_0$ ,  
 $D\phi(T)$  a fase da portadora num instante  $T$ ,  
 $N(T_0)$  é o número inteiro de comprimentos de onda,  
 formado no intervalo  $(T_s, T_0)$ .

O receptor na realidade mede o valor de  $D\phi_{obs}$  que é a fase da frequência de batimento da portadora ou simplesmente conhecida como Fase da Portadora, e é igual a diferença entre a fase  $\phi_G$  gerada por ele mesmo e a fase  $\phi_R$  recebida. Portanto, a observação para um tempo  $T_0$  é:

$$D\phi_{obs}(T_0) = \phi_G(T_0) - \phi_R(T_0). \quad (1)$$

Quando se faz a primeira observação no tempo  $T_0$ , desconhece-se por completo o valor dos ciclos inteiros  $N(T_0)$  transcorridos no intervalo  $(T_s, T_0)$ . O valor de  $N(T_0)$  pode ser qualquer valor inteiro, ou seja, até o tempo  $T_0$ ,  $N(T_0)$  pode ter infinito números de ciclos inteiros, motivo pelo qual é chamado de AMBIGÜIDADE.

Observando a figura 02 mostra que:

$$D\phi(T_0) = D\phi_{obs}(T_0) + N(T_0). \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2) tem-se:

$$D\phi(T_0) = \phi_G(T_0) - \phi_R(T_0) + N(T_0). \quad (3)$$

Agora, para qualquer instante  $T$ , e considerando que houve um rastreamento contínuo do sinal, e que não houve perda deste, a ambigüidade  $N(T_0)$  vai permanecer constante em todo o

tempo que durar o rastreamento. Portanto:

$$D\phi(T) = \phi_G(T) - \phi_R(T) + N(T_0). \quad (4)$$

Agora, trabalha-se com a escala de tempo GPS a equação (4), pode ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$D\phi(tt, tr) = \phi_G(tr) - \phi_R(tt, tr) + N(tr) \quad (5)$$

onde:

- tr                    o instante de recepção do sinal na escala de tempo GPS,
- tt                    o instante de transmissão do sinal na escala de tempo GPS,
- $D\phi(tt, tr)$         a fase do sinal transmitido no instante tt, e medida no instante tr (em ciclos),
- $\phi_G(tr)$             a fase gerada pelo receptor no instante tr (em ciclos),
- $\phi_R(tt, tr)$         a fase do sinal transmitido no instante tt, recebido no instante tr (em ciclos),
- $N(tr)$               a ambigüidade (em ciclos), constante se não houve perda de sinal e é igual a ambigüidade da primeira medida, ou seja,  $N(tr) = N(T_0)$ .

Segundo REMONDI citado por RODRIGUES (1986), o efeito Doppler não afeta a fase do sinal, ou seja, a fase recebida  $\phi_R(tt, tr)$ , é igual a fase transmitida pelo satélite  $\phi_S(tt)$  no instante de transmissão, então:

$$\phi R(tt, tr) = \phi S(tt). \quad (6)$$

Portanto, a equação (5), torna-se

$$D\phi(tt, tr) = \phi G(tr) - \phi S(tt) + N(T_0). \quad (7)$$

Agora, como o Tempo de Propagação (TP) real do sinal é:

$$TP = tr - tt \quad (8)$$

então

$$\phi S(tt) = \phi S(tr - TP) \quad (9)$$

$$\phi S(tt) = \phi S(tr) - \Delta\phi S(TP) \quad (10)$$

onde:

$$\Delta\phi S(TP) = \int_{tt}^{tr} f_s(t).dt \quad (11)$$

$\Delta\phi S(TP)$  a variação da fase do sinal transmitido,  
durante o intervalo TP,  
 $f_s$  frequência nominal de uma portadora,  
transmitida pelo satélite.

Como as frequências dos osciladores dos satélites e dos receptores são mantidas próximas do valor da frequência nominal da portadora, e admitindo  $f_s$  constante (se o oscilador



do satélite permanece estável) durante o intervalo TP, tem-se:

$$\Delta\phi_S(TP) = f_s \cdot TP(tt, tr) \quad (12)$$

como

$$TP(tt, tr) = \frac{DG(tt, tr)}{c} + \varepsilon_{RA} + \varepsilon_R \quad (13)$$

onde:

$DG(tt, tr)$  distância geométrica entre a antena do  
satélite e a antena do receptor,  
 $\varepsilon_{RA}$  efeitos devido à Refração Atmosférica,  
 $\varepsilon_R$  os ruídos nas observações,  
 $c$  a velocidade da luz no vácuo.

Sabe-se que :

$$DG(tt, tr) = || X^j - X_A || \quad (14)$$

onde :

$X^j$  coordenadas cartesianas do satélite no WGS-84,  
 $X_A$  coordenadas cartesianas da antena do receptor  
no WGS-84.

Substituindo (13) em (12), e o resultado em (10),  
tem-se:

$$\phi_S(tt) = \phi_S(tr) - \frac{f_s}{c} DG(tt, tr) - f_s \cdot \varepsilon_{RA} - f_s \cdot \varepsilon_R. \quad (15)$$

Substituindo (15) em (7) tem-se:

$$D\phi(tt, tr) = \phi_G(tr) - \phi_S(tr) + \frac{f_s}{c} \cdot DG(tt, tr) + N(tr) + f_s \cdot \varepsilon_{RA} + f_s \cdot \varepsilon_R \quad (16)$$

sabe-se que

$$c = \lambda s . fs \quad (17)$$

e chamando

$$\lambda s = \lambda \quad (18)$$

$$fs = f.$$

Para se obter em unidades de comprimento, a equação (16) faz-se:

$$\Delta\phi(tt, tr) = \lambda s . D\phi(tt, tr) \quad (19)$$

onde:

$\Delta\phi(tt, tr)$  a fase da portadora em unidade de comprimento.

Substituindo (16), (17) e (18) em (19), obtêm-se a EQUAÇÃO DE OBSERVAÇÃO PARA A FASE DA PORTADORA.

$$\Delta\phi(tt, tr) = \lambda . \phi G(tr) - \lambda . \phi S(tr) + DG(tt, tr) + \lambda . N(T_0) + c . \delta RA + c . \delta R. \quad (20)$$

Nesta equação as incógnitas são :

- As três coordenadas do receptor.
- Uma fase  $\phi G$  em cada observação.
- Uma fase  $\phi S$  em cada observação.
- Uma ambigüidade inteira  $N$  em ciclos, para cada satélite rastreado, enquanto não exista perda de sinal.

Para maiores detalhes dos modelos matemáticos envolvendo a fase da portadora GPS, ver em (ANDRADE, 1988), (GEMAEI, 1991), (REMONDI, 1985), (REMONDI, 1985-1986), (RODRIGUES, 1989), (SEEBER, 1993), (WELLS, 1987).

### 3.1 EQUACÕES DE DIFERENÇA DE FASE DA PORTADORA PARA POSICIONAMENTO RELATIVO

As vantagens do método relativo, de um modo geral, é que para distâncias curtas (menor que 10 Km) o comportamento dos erros sistemáticos remanescentes da imperfeição dos parâmetros orbitais e dos modelos matemáticos para a correção da refração atmosférica, afetam igualmente as duas estações. Com isso, o vetor obtido no método relativo é mais preciso que o modo pontual ou absoluto, porque se não elimina aqueles erros pelo menos têm uma redução significativa dos mesmos.

A equação (20), pode ser colocada em forma mais simples, isto é:

$$\Delta\phi(tr) = \lambda.\phi G(tr) - \lambda.\phi S(tr) + DG(tr) + \lambda.N(T_0) + c.\delta RA + c.\delta R. \quad (21)$$

Na equação (21), pode-se observar que para cada observação tem-se 6 incógnitas. Acrescentando-se outra observação então aumentaria em duas novas incógnitas ( $\phi S$  e  $\phi G$ ) mostrando que a solução é indeterminada, já que o número de incógnitas supera o número de equações de observação.

A indeterminação pode ser resolvida através de um

artifício de cálculo. GOAD<sup>1</sup> propoz um método utilizando duas estações e vários satélites. Escolheu-se uma estação e um satélite como base das diferenças, e assim, pode-se levantar a indeterminação do problema mesmo medindo a "Pura Fase de Batimento" (eq. 20). Este algoritmo, contudo, é o mais empregado na dupla diferença de fase (ver secção 3.1.2). Maiores detalhes estão dados em GOAD<sup>1</sup>, (ASHKENAZI e YAU, 1986), (GEMAEL, 1991), (MADER, 1986).

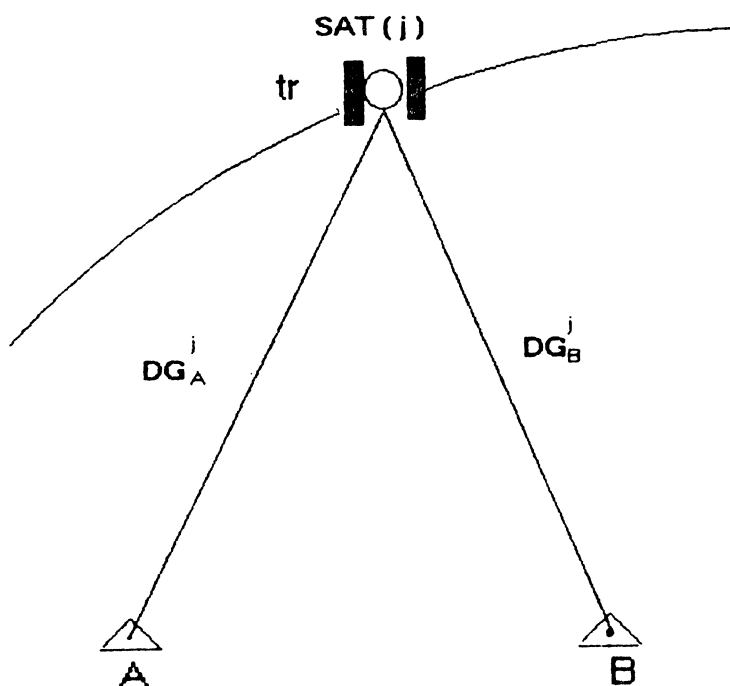
### 3.1.1 Simples diferença de fase.

Esta observação consiste em utilizar duas estações A e B sintonizando o mesmo satélite (j). Cada receptor mede a fase da portadora num instante  $t_r$  que é a observável, ver figura 03.

---

<sup>1</sup> GOAD, C.G. Precise relative position determination using GPS carrier phase measurements in a non difference mode. Proceedings First International Symposium on Precise Positioning System, V.1, U.S. Department of Commerce, 1985. Citado por ASHKENAZI (1986, p. 231), GEMAEL (1991, p. 9.5).

FIGURA 03 - SIMPLES DIFERENÇA DE FASE



O modelo matemático para simples diferença de fase ( $SD\Delta\phi$ ) é igual a diferença das fases das portadoras. Utilizando a equação (21) tem-se:

$$SD\Delta\phi_{AB}^j(tr) = \Delta\phi_B^j(tr) - \Delta\phi_A^j(tr). \quad (22)$$

Substituindo (21) em (22)

$$\begin{aligned} SD\Delta\phi_{AB}^j(tr) = & \lambda \cdot \phi G_B(tr) - \lambda \cdot \phi S^j(tr) + DG_B^j(tr) + \lambda \cdot N_B^j(T_0) \\ & + c \cdot \delta R_A + c \cdot \delta R_B - [\lambda \cdot \phi G_A(tr) - \lambda \cdot \phi S^j(tr) \\ & + DG_A^j(tr) + \lambda \cdot N_A^j(T_0) + c \cdot \delta R_A + c \cdot \delta R_A]. \quad (23) \end{aligned}$$

Agrupando-se as diferenças entre parênteses, tem-se:

$$\begin{aligned} SD\Delta\phi_{AB}^j(tr) = & \lambda.(\phi G_B(tr) - \phi G_A(tr)) + (DG_B^j(tr) - DG_A^j(tr)) \\ & + \lambda.(N_B^j(T_0) - N_A^j(T_0)) + c.(\varepsilon RA_B - \varepsilon RA_A) \\ & + c.(\varepsilon R_B - \varepsilon R_A). \end{aligned} \quad (24)$$

Portanto,

$$\begin{aligned} SD\Delta\phi_{AB}^j(tr) = & \lambda.\phi G_{AB}(tr) + DG_{AB}^j(tr) + \lambda.N_{AB}^j(T_0) \\ & + c.\varepsilon RA_{AB} + c.\varepsilon R_{AB}. \end{aligned} \quad (25)$$

Admitindo conhecidas as coordenadas da estação A, as incógnitas são:

- As coordenadas do receptor B,
- Uma diferença de fase  $\phi G_{AB}$  em cada observação em ciclos,
- Uma diferença de ciclos inteiros  $N_{AB}^j$ , desde que os dois receptores mantenham a sintonia com o satélite j.

A incógnita  $\phi S^j$  foi eliminada uma vez que foi admitida a simultaneidade das observações.

O problema continua indeterminado já que aparecem como incógnitas na equação (25), 3 coordenadas da estação B, uma incógnita  $N_{AB}^j$  para cada satélite observado e uma incógnita  $\phi G_{AB}$  por satélite e por época de observação.

Para distâncias menores que 10 Km pode-se considerar que as condições atmosféricas são as mesmas para os dois pontos, e negligenciando os erros devido a ruídos ( $\varepsilon R$ ), a equação (25)

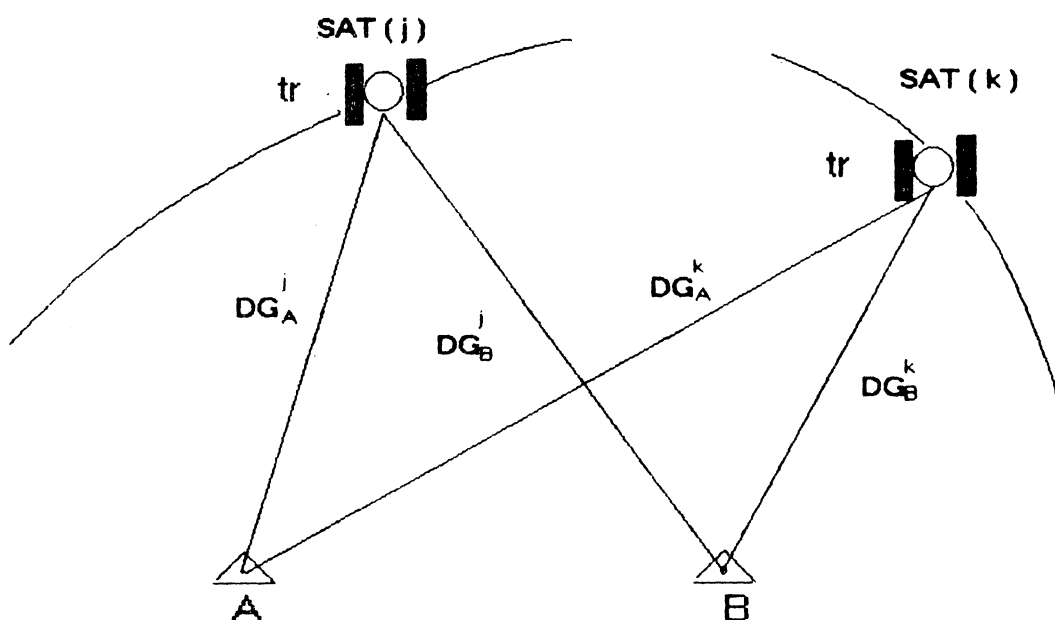
resulta:

$$SD\Delta\phi_{AB}^j(tr) = \lambda \cdot \phi_{AB}^j(tr) + DG_{AB}^j(tr) + \lambda \cdot N_{AB}^j(T_0). \quad (26)$$

### 3.1.2 Dupla diferença de fase.

Consiste em realizar observações simultaneamente nas duas estações A e B para dois satélites j e k, obtidas num mesmo instante tr, ver figura 04

FIGURA 04 - DUPLA DIFERENÇA DE FASE



A diferença entre simples diferença de fase se conhece como Dupla Diferença de Fase ( $DD\Delta\phi$ ). Aplicando a equação (26) para dois satélites, tem-se:

$$DD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr) = SD\Delta\phi_{AB}^k(tr) - SD\Delta\phi_{AB}^j(tr). \quad (27)$$

Substituindo (26) em (27), tem-se:

$$\begin{aligned} DD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr) = & \lambda \cdot \phi G_{AB}^k(tr) + DG_{AB}^k(tr) + \lambda \cdot N_{AB}^k(T_0) \\ & - [\lambda \cdot \phi G_{AB}^j(tr) + DG_{AB}^j(tr) + \lambda \cdot N_{AB}^j(T_0)]. \end{aligned} \quad (28)$$

Agrupando as diferenças entre parênteses, tem-se:

$$\begin{aligned} DD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr) = & [DG_{AB}^k(tr) - DG_{AB}^j(tr)] \\ & + \lambda \cdot [N_{AB}^k(tr) - N_{AB}^j(T_0)]. \end{aligned} \quad (29)$$

Portanto,

$$DD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr) = DG_{AB}^{jk}(tr) + \lambda \cdot N_{AB}^{jk}(T_0). \quad (30)$$

As incógnitas são :

- As coordenadas da estação B. (as coordenadas de A são conhecidas).
- Uma diferença de ciclos inteiros  $N_{AB}^{jk}$ , para cada par de satélites observados, desde que se mantenha a sintonia aos satélites.

A incógnita  $\phi G_{AB}^{jk}$  foi eliminada, uma vez que foi admitida a simultaneidade das observações.

Normalmente o modelo (30) é aplicado para 4 ou mais satélites. Admitindo como base a estação A e o satélite 1, tem-se como incógnitas as coordenadas da estação B mais três incógnitas: as ambigüidades inteiras  $N_{AB}^{12}$ ,  $N_{AB}^{13}$ ,  $N_{AB}^{14}$ ; isto é,



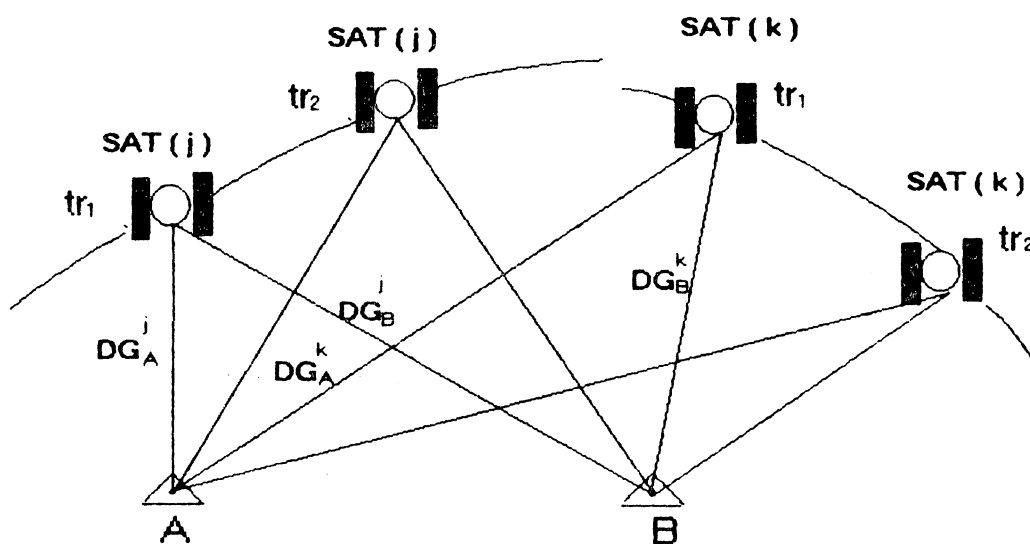
( $n-1$ ) ambigüidades incógnitas, sendo  $n$  o número de satélites rastreados.

Até o momento o modelo (30) tem sido o mais empregado pelos ótimos resultados que oferece.

### 3.1.3 Tripla diferença de fase.

Consiste em fazer observações simultâneas desde duas estações A e B para os mesmos dois satélites e em duas épocas diferentes  $tr_1$  e  $tr_2$ , ver figura 05.

FIGURA 05 – TRIPLA DIFERENÇA DE FASE



A diferença entre duas Duplas Diferenças de Fase fornece a Tripla Diferença de Fase. Aplicando a equação (30), tem-se :

$$TD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr_1, tr_2) = DD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr_2) - DD\Delta\phi_{AB}^{jk}(tr_1) \quad (31)$$

substituindo (30) em (31), tem-se

$$\begin{aligned} \text{TD}\Delta\phi_{AB}^{jk}(\text{tr}_1, \text{tr}_2) = & \text{DG}_{AB}^{jk}(\text{tr}_2) + \lambda \cdot N_{AB}^{jk}(\text{T}_0) \\ & - [\text{DG}_{AB}^{jk}(\text{tr}_1) + \lambda \cdot N_{AB}^{jk}(\text{T}_0)] \end{aligned} \quad (32)$$

Agrupando as diferenças entre parênteses, tem-se

$$\text{TD}\Delta\phi_{AB}^{jk}(\text{tr}_1, \text{tr}_2) = \text{DG}_{AB}^{jk}(\text{tr}_2) - \text{DG}_{AB}^{jk}(\text{tr}_1). \quad (33)$$

As incógnitas são:

- As coordenadas da estação B (conhecida as coordenadas da estação A).

A incógnita  $N_{AB}^{jk}$  foi eliminada, uma vez que foi admitida a continuidade das observações nos dois satélites, e que não há perda de sinal.

#### 4. MÉTODOS DE POSICIONAMENTO CINEMÁTICO RELATIVO.

Os métodos cinemáticos são métodos de posicionamento relativo, isto implica que as coordenadas de um ponto têm que ser conhecidas. Este ponto vai ser considerado como ponto de referência para os demais que vão ser posicionados.

Para a execução dos métodos cinemáticos interrompido e contínuo precisa-se primeiro fazer uma etapa de inicialização, a fim de determinar as ambigüidades inteiras. Uma vez terminada esta etapa, prossegue-se com o posicionamento cinemático. O método pseudo-cinemático não precisa esta etapa.

##### 4.1 MÉTODOS DE INICIALIZAÇÃO

Uma das exigências previa à aplicação dos métodos cinemáticos interrompido e contínuo é a determinação dos valores inteiros das ambigüidades. Existem varios métodos para realizar a etapa de inicialização e quando necessário a reinicialização. Dependendo do método a ser utilizado estas podem durar de poucos minutos até horas, assim tem-se: Intercâmbio de Antenas, Linha Base Conhecida, Estático Regular, Estático Rápido, Pseudo-cinemático.

A fim de diminuir o tempo na etapa inicial é frequentemente utilizado a técnica do Intercâmbio de Antenas ou da Linha Base Conhecida. Para maior informação dos outros métodos ver (SEEBER, 1993), (TRIMBLE NAVIGATION, 1991).

#### 4.1.1 Intercâmbio de antenas

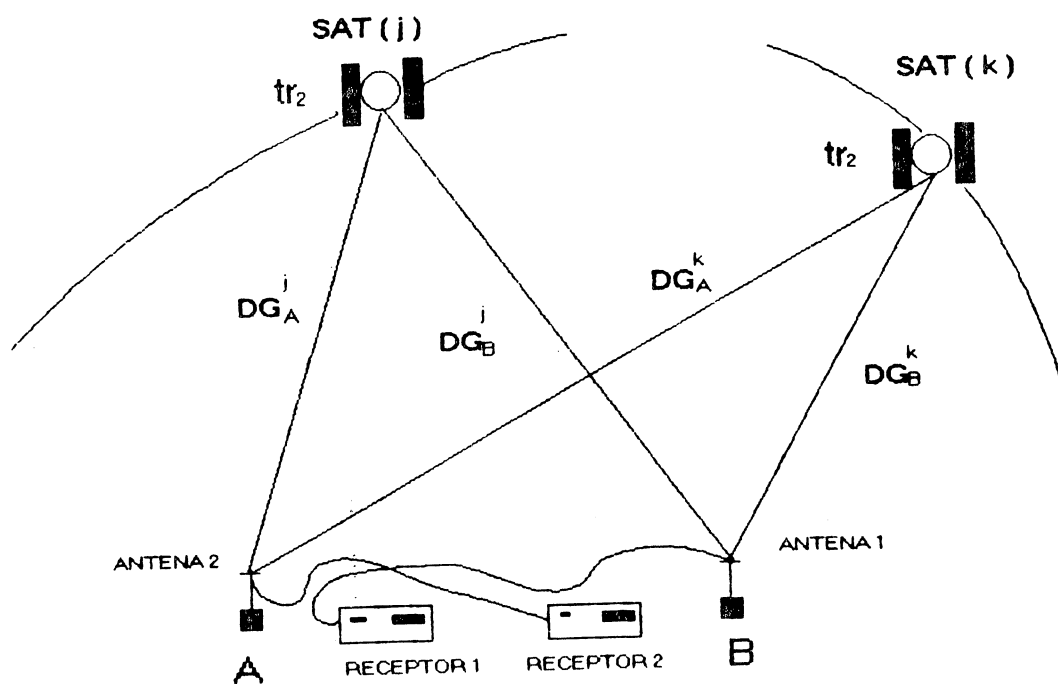
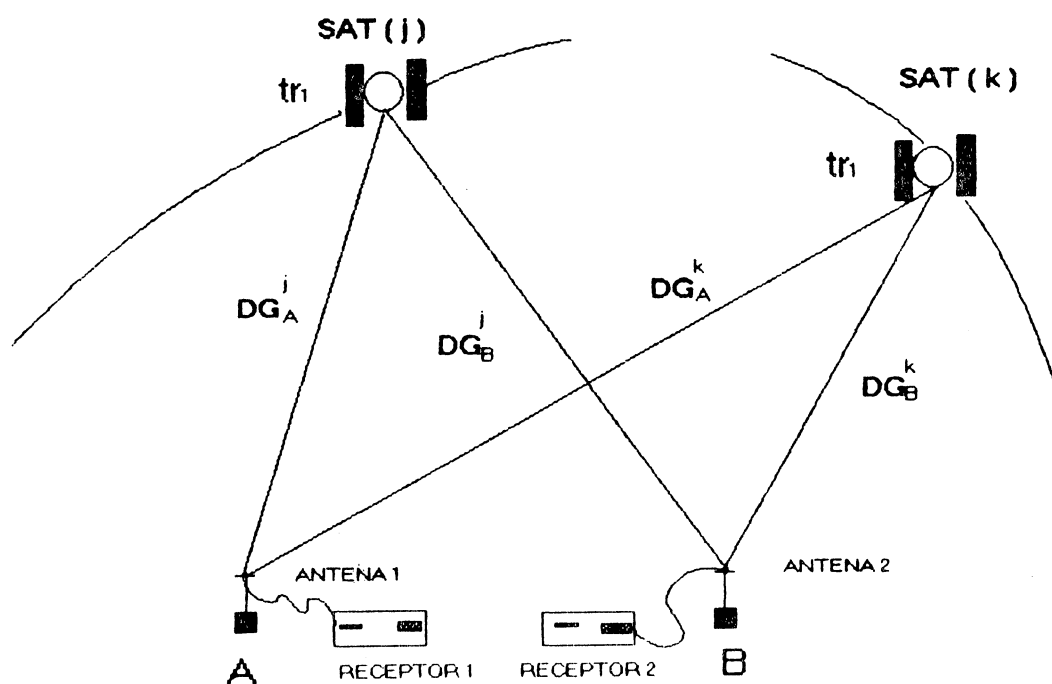
Este método é utilizado para realizar a etapa de inicialização, previa à aplicação dos métodos Interrompido e Contínuo, (ver secção 4.2).

Esta técnica requer dois pontos próximos, na qual, as coordenadas de um ponto podem ser conhecidas, ou mesmo desconhecer as coordenadas dos dois pontos. Em ambos os casos, pode-se estabelecer em poucos minutos de tempo o valor das ambigüidades inteiras, que é o objetivo para a utilização deste método.

Geralmente, este método é mais utilizado quando se conhece as coordenadas de um ponto, que será utilizado como ponto de referência para o posicionamento relativo dos demais pontos.

Este método é executado da seguinte forma: Tem-se dois marcos A e B próximos, ocupados com as antenas 1 e 2 respectivamente. Quando a sintonia aos satélites estiver estável, pelo menos em quatro satélites, procede-se à troca das antenas, figura 06; posteriormente, troca-se novamente as antenas retornando a sua posição original, (ver secção 5.4.2.3). Durante o movimento das antenas a recepção da sinal deve ser contínua nos dois receptores de pelo menos 4 satélites.

FIGURA 06 - O MÉTODO DO INTERCÂMBIO DE ANTENAS



No caso que se desconhece as coordenadas dos pontos A e B, pode-se fazer uso da fase da portadora e do código (Pseudo-distância) para a solução da ambigüidade e logo a posição dos pontos. Assim, pode-se conseguir medir o vetor entre dois pontos desconhecidos, em poucos minutos, com precisão de milímetros (FELL, 1986), (REMONDI, 1985), (REMONDI, 1985-1986).

O método do intercâmbio de antenas permite determinar o vetor inicial AB e os valores das ambigüidades inteiras. Estas ambigüidades podem ser usadas para refinar o vetor inicial e podem ser transportadas para outro ponto desconhecido mediante o levantamento cinemático GPS.

#### 4.1.1.1 O modelo matemático.

REMONDI (1985), recomenda para este método o uso de cinco (ou mais) satélites; isto devido à proximidade física das antenas, ao reduzido cansaço humano envolvido e ao fato de que tais medidas são de baixo custo.

No intercâmbio de antenas na época  $t_r = tr_1$ , a antena 1 está no ponto A, a antena 2 está no ponto B (antes da troca), logo troca-se as antenas e assumindo sempre um sinal contínuo da fase da portadora, tem-se para  $t_r = tr_2$ , a antena 2 no ponto A e a antena 1 no ponto B, figura 06. Especificamente, aplicando a Dupla Diferença de Fase (eq.30), tem-se:

para  $t_r = tr_1$

$$DD\Delta\phi_{12}^{jk}(tr_1) = DG_{AB}^{jk}(tr_1) + \lambda \cdot N_{12}^{jk} \quad (34)$$

para  $tr=tr_2$

$$DD\Delta\phi_{12}^{jk}(tr_2) = DG_{BA}^{jk}(tr_2) + \lambda \cdot N_{12}^{jk}. \quad (35)$$

Note-se que o índice dos receptores(12) não mudaram enquanto que os índices das estações (AB) mudaram.

Fazendo a diferença entre as equações (35) e(34), tem-se:

$$DD\Delta\phi_{12}^{jk}(tr_2) - DD\Delta\phi_{12}^{jk}(tr_1) = DG_{BA}^{jk}(tr_2) - DG_{AB}^{jk}(tr_1). \quad (36)$$

Tratando-se de um posicionamento relativo, as coordenadas de uma estação devem ser conhecidas e pode-se determinar as coordenadas do outro ponto , e como consequência o vetor inicial AB.

Utilizando a equação (36) pode-se estimar as coordenadas do ponto B.

Uma vez obtida as coordenadas aproximadas do ponto B pode-se determinar as ambigüidades inteiras (N) das expressões (34) e/ou (35). Assim, pode-se fixar os inteiros exatos para  $N_{12}^{jk}$  , e aplicá-los nas expressões (34) e/ou (35), para poder obter uma estimativa mais precisa para a estação B.

#### 4.1.2 Linha base conhecida.

Esta técnica de inicialização requer que as coordenadas de dois pontos sejam conhecidas com uma boa precisão (ver secção 5.4.2.2). Este método é mais rápido que o

intercâmbio de antenas na determinação das ambigüidades e do vetor inicial.

#### 4.1.2.1 O modelo matemático.

Considerando que se conhecem as coordenadas de dois pontos A (antena 1, fixo) e B (posição inicial da antena 2, móvel), e aplicando a equação da Dupla Diferença de Fase (eq.30), tem-se:

para  $tr = tr_1$

$$DD\Delta\phi_{12}^{jk}(tr_1) = DG_{AB}^{jk}(tr_1) + \lambda \cdot N_{12}^{jk} \quad (37)$$

Onde  $N_{12}^{jk}$ , representa as ambigüidades inteiras em ciclos desconhecidas referentes aos satélites  $j$  e  $k$ , e as antenas 1 e 2. Estes valores são estimados pelo processo dos mínimos quadrados como números reais, devendo ser posteriormente fixados para valores inteiros (ANDRADE e GEMAEL, 1989), (REMONDI, 1988), (REMONDI, 1990).

Utilizando posteriormente a equação (37), obtém-se uma melhor estimativa do ponto B, portanto o vetor inicial.

## 4.2 OS MÉTODOS CINEMÁTICOS

São métodos de posicionamento relativo baseados na fase da portadora. Pode ser contínuo, para aplicações aéreas marítimas e terrestres; ou interrompido (stop and go) e pseudo-cinemático, para aplicações em levantamentos locais.

Um aspecto importante que se tem que levar em conta é a perda do sinal (cycles slips). Estas perdas deveriam ser



evitadas durante os períodos de movimento; de outro modo necessariamente tem-se que reinicializar as observações a fim de calcular novamente os novos valores inteiros das ambigüidades, e dar continuidade com o posicionamento cinemático.

A experiência demonstra que uma vez determinadas as ambigüidades bastam poucas observações para determinar as coordenadas relativas de um ponto. Desde que não exista perda de sinal, os valores das ambigüidades vão ser os mesmos em todo o período que durar o rastreio; assim as antenas podem ser movimentadas sem alterar o valor das ambigüidades. Quando houver observações suficientes para determinar as ambigüidades, torna-se possível deslocar as antenas para outros pontos e determinar as suas coordenadas relativas.

#### 4.2.1 O método interrompido

Antes de começar a realizar as observações, os valores inteiros das ambigüidades de fase da portadora têm que ser previamente calculados utilizando métodos apropriados . Em geral utiliza-se o método de Intercâmbio de Antenas, (ver secção 4.1.1 e secção 5.5.1). Depois de determinadas as ambigüidades, somente a diferença de coordenadas entre medidas simultâneas ficam como parâmetros desconhecidos.

Uma vez terminada a etapa de inicialização procede-se a realizar o posicionamento cinemático. Este método consiste em que uma das antenas deve ser movida para um ponto (marco) a ser levantado e a outra deve permanecer fixa . O sinal da portadora deve ser mantido durante a transição da antena

móvel. Quando a antena estiver devidamente instalada sobre o marco, as medidas das fases GPS serão registradas pelo receptor. O tempo de ocupação total pode variar de segundos a minutos dependendo do meio de transporte entre os marcos e a exatidão requerida.

Uma variante do método interrompido, o qual permite calcular as ambigüidades em menor tempo de observação, é a de ocupar uma base com os extremos conhecidos (ver secção 4.1.2 e secção 5.4.2.2).

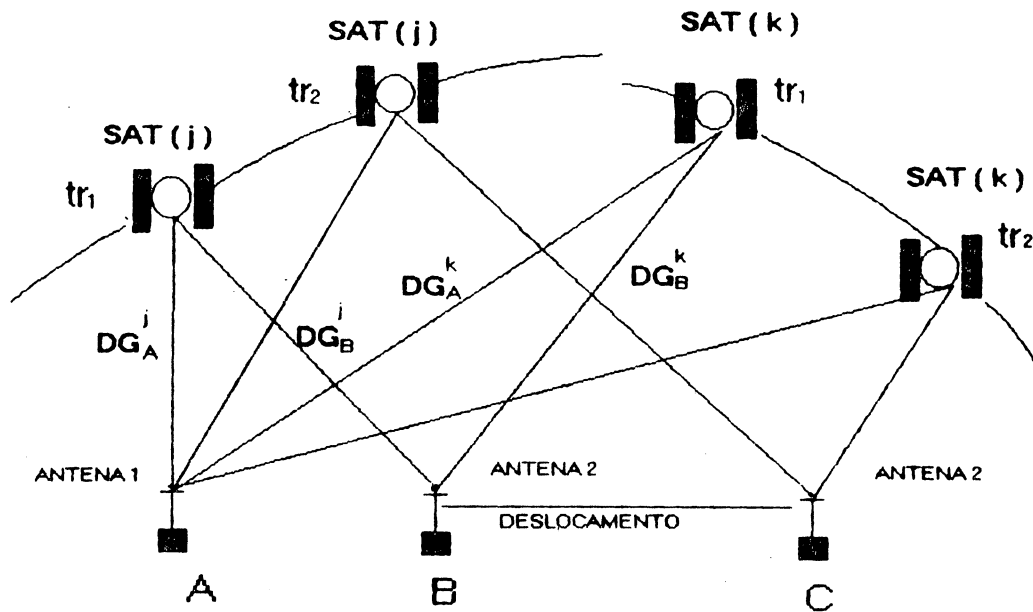
A ambigüidade muda se a sintonia do sinal do satélite é perdido, por tanto, necessita ser novamente determinada. Para que isto não aconteça, o transporte do receptor entre as marcas tem que ser bem feito, de maneira de evitar os obstáculos.

Este método facilita a determinação das componentes da linha base entre um ponto conhecido (de referência) e a sucessão de pontos que vão ser determinados, com uma boa precisão em poucos minutos por ponto quando se tem localizados pelo menos 5 satélites (FELL, 1986), (MADER, 199-), (TRIMBLE NAVIGATION, 1988).

#### 4.2.1.1 O modelo matemático

Para este método em que a etapa de inicialização foi realizada utilizando uma linha base de coordenadas conhecidas ver figura 07.

FIGURA 07 - O MÉTODO INTERROMPIDO COM INICIALIZAÇÃO DE LINHA BASE CONHECIDA



Para um instante  $tr=tr_2$ , a antena 2 passa para o ponto C (assumindo contínua a recepção da sinal) e aplicando a dupla diferença de fase (eq.30), tem-se:

$$DD\Delta\phi_{12}^{jk}(tr_2) = DG_{AC}^{jk}(tr_2) + \lambda \cdot N_{12}^{jk} \quad (38)$$

Como  $N_{12}^{jk}$ , foi determinado na etapa inicial, então as incógnitas são as coordenadas do ponto C e podem ser calculadas utilizando a equação (38).

#### 4.2.2 O método contínuo

Neste método o receptor móvel não deve ficar parado antes, durante e depois da observação. A medida cinemática contínua precisa da previa determinação da ambigüidade (etapa de inicialização), (ver secção 4.1). A posição pode ser obtida pela tripla diferença de fase, dupla diferença de fase, ou simples diferença de fase (CANNON, 1990), (FELL, 1986).

Este método de posicionamento cinemático exige a sintonia contínua da portadora de pelo menos quatro satélites, mas é recomendável o rastreamento contínuo de seis satélites.

Este método é semelhante ao da navegação (determinação contínua de coordenadas), com a diferença de que os resultados não são obtidos em tempo real.

A obtenção dos resultados em tempo real é possível desde que um receptor possa transmitir os seus dados ao outro para o processamento imediato.

O método de posicionamento cinemático contínuo com pós-processamento é uma técnica capaz de prover com precisão de poucos centímetros a posição de um ponto num curto período de tempo (ver secção 5.5.2).

##### 4.2.2.1 O modelo matemático

Para a resolução deste método, o modelo matemático que é utilizado no pós-processamento é a Dupla diferença de Fase. O modelo é o mesmo que do método Interrompido, com a diferença de que as coordenadas são calculadas para cada época de observação.

#### 4.3 O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO.

O método pseudo-cinemático foi assim denominado por seu autor Remondi. Trata-se de uma técnica em que se realiza várias visitas do receptor móvel ao ponto desconhecido, em tempos múltiplos de durações breves .

Este método baseia-se na mudança da geometria dos satélites, portanto, o período total de observação é mais importante que o número de observações. Assim, deve-se observar os satélites por curtos períodos, em geral mais de 5 minutos, espaçados por períodos maior que 55 minutos (OSZCZAK, 1991?), (REMONDI, 1988), (REMONDI, 1990), (TSENG e LIOU, 199-).

Neste método não há necessidade de se manter os satélites em sintonia durante o trajeto entre os marcos. O receptor pode até mesmo ser desligado durante o percurso entre as estações, sendo útil em regiões onde existem muitos obstáculos para a recepção do sinal emitido pelos satélites. Por outro lado, exige-se a reocupação dos pontos.

No pós-processamento dos dados, inicialmente, determina-se os valores das ambigüidades inteiras. Então processam-se os dados coletados em uma referida estação, a partir de todas as visitas, como no posicionamento estático, enquanto que as informações obtidas durante os trajetos aos diferentes pontos são ignoradas. Ambas séries de dados coletados nas duas ocupações é considerada como um conjunto só de observações com uma única perda de sinal.

Para levantamentos de precisão na prática é recomendado e sugerido mais de duas visitas com um tempo mínimo

de ocupação de 10 minutos e rastreando seis satélites (ver secção 5.5.3).

#### 4.3.1 O modelo matemático.

O método de posicionamento pseudo-cinemático não tem equações específicas; utiliza-se os modelos do posicionamento estático GPS (REMONDI, 1988). Os dois métodos diferem enquanto aos períodos de observações.

As observações obtidas no transcurso do receptor/antena entre os pontos são simplesmente ignoradas. No entanto para obter melhores resultados, faz-se necessário fixar as perdas de ciclos ocorridas entre as visitas, como também os inteiros exatos referentes as ambigüidades ( $N_{12}^{jk}$ ).

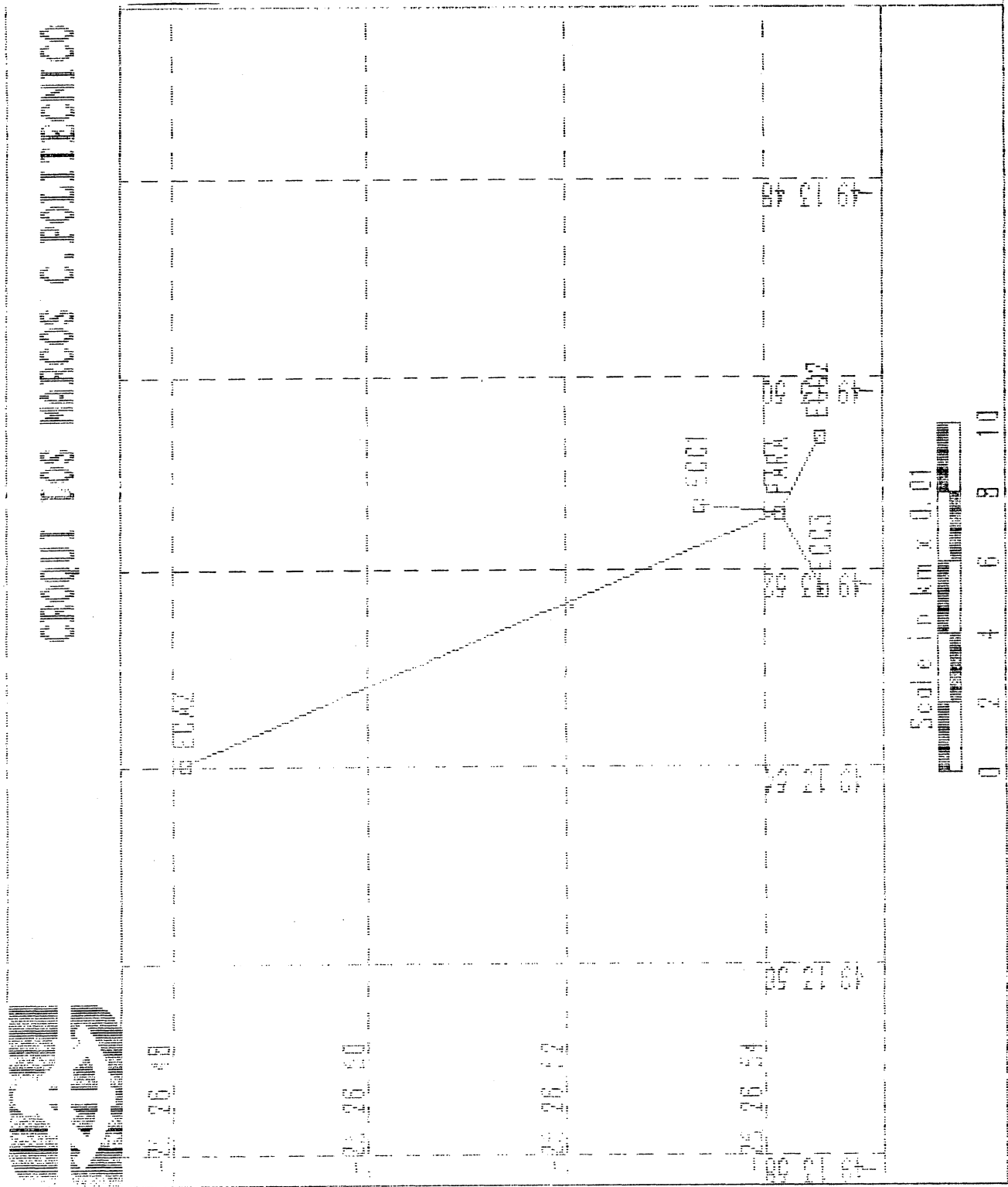
Dispondo de uma quantidade suficiente de satélites (no mínimo quatro), e assumindo que o ponto A é conhecido, pode-se determinar aproximadamente a posição do ponto B utilizando o modelo da tripla diferença de fase, equação (33). Logo, aplicando a solução no modelo da dupla diferença de fase, equação (30), determinam-se as ambigüidades inteiras  $N_{12}^{jk}$ , e por último as coordenadas do ponto desconhecido.

## 5. TRABALHO DE CAMPO.

### 5.1 ÁREA DO LEVANTAMENTO.

Os trabalhos de campo para a execução dos diferentes métodos cinemáticos foram feitos em duas áreas diferentes. O primeiro, foi realizada nos marcos existentes dentro dos limites do Centro Politécnico da UFPr, no Observatório de Astronomia, conforme o croqui apresentado na figura 08. O segundo, foi realizado nos pilares existentes na Fazenda Experimental Canguiri, pertencente ao Município Quatro Barras, localizada a uns 13 km do Centro Politécnico, conforme o croqui apresentado na figura 09.

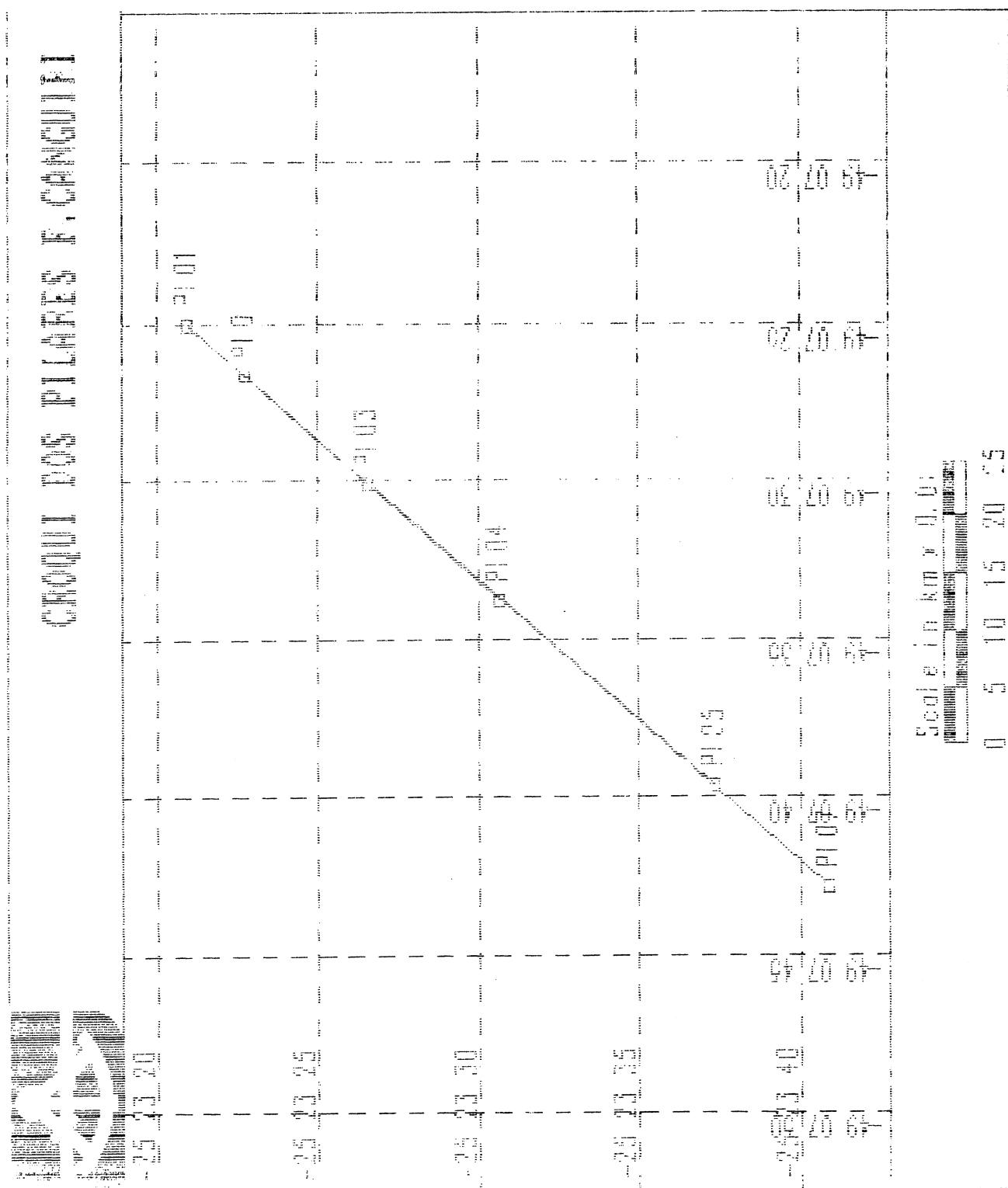
FIGURA 08 - DISTRIBUIÇÃO DOS MARCOS EXISTENTES NO CENTRO CENTRO POLITÉCNICO



FONTE : Programa TMAP do software TRIMVEC



FIGURA 09 - DISTRIBUIÇÃO DOS PILARES EXISTENTES NA FAZENDA CANGUIRI



FONTE : Programa TMAP do software TRIMVEC

## 5.2 EQUIPAMENTO.

Para a realização dos trabalhos de campo utilizou-se os equipamentos existentes no Centro Politécnico, pertencentes à UFPr/CPGCG, que são:

- Dois receptores (com todos seus acessórios) de tipo multicanal da TRIMBLE Navigation, modelo 4000SST, equipado para captar as duas frequências L1,L2 e o código P.
- Duas antenas Geodetic L1/L2.
- Uma antena externa cinemática.
- Baterias.
- Cabos de conexão.
- Tripés.
- Bases de nivelamento.
- Mochila.

Também é fundamental que se tenha disponível o Planejamento para o dia do rastreio (ver secção 5.3), uma Caderneta de Campo, para anotar tudo o que se sucedeu no tempo de rastreio, visto que este ajudará no momento do pós-processamento.

Para a etapa de pós-processamento utilizou-se o software TRIMVEC , desenvolvido pela TRIMBLE.

### 5.3 PLANEJAMENTO.

Esta etapa é fundamental, pois através dela pode-se obter bons resultados num menor tempo.

Qualquer tipo de levantamento deve ser precedido pelo planejamento visando uma otimização dos recursos e uma eficiência no trabalho. Levantamentos usando posicionamento GPS não é uma exceção, portanto deve ser feito um trabalho cuidadoso para minimizar a possibilidade de ter que voltar ao campo para refazer o levantamento. Deste modo as observações podem ser realizadas de forma eficiente e com um mínimo de imprevistos.

Antes de começar a realizar as observações, é necessário primeiro efetuar um reconhecimento da área de trabalho, com a finalidade de:

- Poder determinar a existência ou não de obstruções nos pontos a serem determinados ou no transcurso destes e poder evitá-los.
- Ter acesso aos pontos.
- Observar a existência de objetos que possam refletir as ondas, e poder evitar o problema de multicaminhos que chegam à antena

Outros aspectos importantes que devem ser levados em consideração são:

- A disponibilidade dos satélites , que deve ser no mínimo de quatro (podendo chegar até 12, quando a constelação estiver

completa).

- A análise da geometria dos satélites disponíveis no tempo que dura o rastreio. A geometria pode ser analisada através da "Diluição de Precisão" (DOP). Quando o posicionamento é tri-dimensional, então, tem-se que observar o melhor PDOP (Diluição da precisão tri-dimensional) para o rastreio. Para maior informação sobre o DOP, ver (ANDRADE, 1988), (GEMAEI, 1991), (KIHARA e OKADA, 1984), (MASSATT e KARL, 1990-1991), (WELLS, 1987).

Uma vez determinado os pontos, realiza-se o planejamento, para o qual, faz-se uso do programa TRIMPLAN do software TRIMVEC. Os resultados deste programa são obtidos a partir :

- Do almanaque, que dá informações aproximadas das efemérides dos satélites para a determinação de suas órbitas para qualquer dia do ano; podem ser utilizados dados de 90 dias anteriores ao dia do rastreio;

- Das coordenadas aproximadas do marco;
- Da data a ser rastreada;
- Do tempo de rastreio;
- Das obstruções (ângulo e azimuth) e
- Do ângulo de elevação mínima dos satélites (geralmente  $15^{\circ}$ ).

O TRIMPLAN, fornece a lista de satélites que estão visíveis para um determinado marco e para uma data definida.

Para cada satélite visível informa sobre o ângulo de elevação e azimute. Também informa o valor do PDOP, o que mostra uma previsão da precisão dos resultados finais. Também permite a elaboração de gráficos com os quais é possível visualizar diversos aspectos da constelação de satélites GPS, em relação ao observador. Estes gráficos são de grande ajuda para o planejamento (ANDRADE, 1988), (SEEBER, 1986), e são :

- 1) De Disponibilidade, de fornecer as janelas de observação, ver Anexo 02;
- 2) De visibilidade, de mostrar os intervalos da visibilidade de todos os satélites, num período de tempo especificado;
- 3) Polar, que permite visualizar a posição dos satélites, e permitir observar a geometria dos satélites em relação ao observador;
- 4) De Azimute, que permite visualizar a variação dos satélites com o tempo;
- 5) De Elevação, que mostra a variação da elevação com o tempo e
- 6) "DOP", que mostra a variação da geometria dos satélites.

O Trimplan, fornece as tabelas de disponibilidade e PDOP da constelação, as quais mostram o número de satélites disponíveis, o tempo inicial e final dessa disponibilidade, e o valor do PDOP, ver Anexo 02.

De posse, do TRIMPLAN para o dia de rastreo, as

observações GPS foram planejadas, e determinou-se as melhores "janelas de observação" que apresentam as melhores condições de rastreamento. Procurou-se janelas com cinco satélites no mínimo, elevação  $> 15^{\circ}$  e um PDOP  $< 5$ .

#### 5.4 COLETA DE DADOS DE CAMPO.

Para o posicionamento cinemático, os trabalhos de campo foram executados somente utilizando a fase da portadora L1, tanto no Centro Politécnico quanto na Fazenda Canguiri. Isto porque, para distâncias menores que 10 Km não existe uma grande mudança nas condições atmosféricas entre os pontos, as quais, podem ser consideradas iguais.

##### 5.4.1 Transporte de coordenadas

Como na Fazenda Canguiri não se tinha nenhum pilar com coordenadas no sistema WGS-84, foi necessário realizar um transporte de coordenadas para um pilar, para o qual utilizou-se um posicionamento estático relativo. O ponto base foi o marco PARA, existente no Centro Politécnico (ver figura 08), e o ponto no qual se transportou as coordenadas foi o pilar PI01 (ver figura 09). Este ponto logo será utilizado como o ponto base para a execução dos métodos cinemáticos.

O rastreamento foi realizado no dia 24/06/93 utilizando-se as duas portadoras e o código P (L1/L2-P), com uma elevação de  $15^{\circ}$ , PDOP  $< 7$ , e com épocas de 15 segundos; o tempo total de rastreamento foi de duas horas.

#### 5.4.2 Inicialização

Antes de começar a realizar as observações cinemáticas, o método tem como exigência que sejam conhecidas as coordenadas dos dois pontos da linha base, como também os valores das Ambigüidades Inteiras. Existem vários métodos de inicialização que podem ser utilizados antes do início dos métodos cinemáticos interrompido e contínuo(ver secção 4.1). Neste trabalho utilizou-se os seguintes métodos:

1. O Método Estático Regular;
2. O Método da Linha Base Conhecida e
3. O Método de Intercâmbio de Antenas.

##### 5.4.2.1. O método estático regular.

Este método de observação consiste em se colocar um receptor em cada extremo de uma linha base e coletar informações entre 45 e 60 minutos.

Antes de começar a realizar as observações cinemáticas, deve-se assegurar de ter terminado com o método estático. Então, pode-se dar início ao método cinemático, mas tem-se que coletar novamente nos extremos da base, informações de pelo menos dois minutos de observação, para logo continuar os demais pontos.

O rastreo foi realizado no dia 09/07/93, para determinar os valores  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  no WGS-84, do pilar PI07 da Fazenda Canguiri, que foi utilizado como ponto de reinicialização. Utilizou-se somente a fase da portadora L1.

#### 5.4.2.2. O método da linha base conhecida

Uma alternativa para realizar a inicialização das observações cinemáticas é a de conhecer as coordenadas de uma linha base que foram calculadas previamente, seja por métodos GPS ou de distanciômetros, ou por qualquer outro método de precisão

Este método é muito útil quando são conhecidas as coordenadas dos extremos da linha base ou os valores de  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  no sistema WGS-84, os quais devem ter uma precisão melhor que 5 cm. (TRIMBLE NAVIGATION, 1991). Neste caso, cada receptor tem que gravar informação por poucos minutos nos dois pontos da base, sendo recomendável que se rastreie pelo menos 2 minutos. Preferencialmente a distância entre os pontos da linha base tem que ser menor que 10 Km de modo a minimizar os erros causados tanto pelas efemérides dos satélites como pelas condições atmosféricas.

##### 5.4.2.2.1. Execução do método.

Considerando a estação PARA como conhecida e a estação ECC3 como a estação inicial do levantamento cinemático GPS, ocupou-se as mesmas com as antenas 1 e 2 respectivamente. Nas duas ocasiões seguiram-se as etapas:

- 1.- Observar se o receptor ainda tem memória disponível para o rastreio, caso contrário limpar as memórias dos receptores.

- 2.- Introduzir informações referentes ao intervalo de recepção, ao número de satélites (no mínimo 4 satélites) e o ângulo de elevação, para as quais serão registradas as



observações GPS;

3.- Introduzir informações referentes aos itens : nome da estação ocupada, sessão, altura da antena. O método para medir a altura da antena depende do equipamento que está sendo utilizado, portanto tem que se assegurar que a medição foi bem feita. Caso exista dúvida, é melhor fazer um desenho de como foi medida esta altura;

4.- O receptor que vai ser fixo pode estar no modo STATIC ou no modo KINEMATIC . O receptor que vai ser móvel deve estar no modo KINEMATIC. Coleta-se pelo menos 2 minutos de observações nos dois receptores no modo STATIC. Depois de se obter as observações suficientes, o receptor móvel está pronto para ser deslocado aos outros pontos.

#### 5.4.2.3. O método de intercâmbio de antenas.

Esta técnica é usada para determinar o vetor inicial e os valores inteiros das ambigüidades (N). O tempo necessário para fazer este método leva de 5 à 10 minutos de observação; requer que a posição de um marco seja conhecida ou mesmo desconhecer a posição dos marcos de uma linha base. Portanto, em ausência de uma linha base conhecida, este método é mais rápido para realizar a etapa de inicialização que logo servirá para as observações cinemáticas. Aqui, um receptor (referência) é colocado sobre um marco de posição conhecida, e o outro receptor (móvel) sobre o marco de posição desconhecida. A distância entre os marcos deve estar entre 5 à 10 metros. Coleta-se poucos minutos de informações; logo as antenas são intercambiadas e coleta-se informação, e por último troca-se

novamente até a sua posição inicial. Depois de ter completado o intercâmbio, as observações cinemáticas podem ser feitas, deslocando-se o receptor móvel aos outros pontos a serem determinados.

#### 5.4.2.3.1. Execução do método

Considerando a estação PARA como conhecida e PONTSWAP como a estação inicial desconhecida do levantamento cinemático GPS ocupou-se as mesmas com as antenas 1 e 2 respectivamente. Executando os itens 1 e 2 da seção 5.4.2.2.1, continua-se conforme as seguintes etapas.

3.- Colocar as antenas sobre o marco de referência e o marco temporário;

4.- Tanto o receptor que vai ficar fixo quanto o receptor que vai ser de móvel devem estar no modo KINEMATIC;

5.- Entrar com o número de identificação ID dos respectivos marcos tanto para o receptor de referência como para o receptor móvel;

6.- Quando os receptores estiverem no modo STATIC, coleta-se simultaneamente informações de pelo menos 2 minutos em ambas as antenas. Caso exista qualquer perda de sinal, ou rastreia-se menos que 4 satélites, tem-se que recommear o intercâmbio de antenas;

7.- Introduzir as respectivas alturas das antenas;

8.- Faz-se o primeiro intercâmbio de antenas entre o marco de referência (receptor fixo) e o marco temporário (receptor móvel), apertando-se nos dois receptores a tecla ROVE antes de começar o deslocamento. Tira-se as antenas, tomando-se

o cuidado de não mexer os tripés (se forem utilizados);

9.- Pôr os dois receptores no modo STATIC e colocar a identificação ID do marco temporário no receptor fixo, e a identificação ID do marco de referência no receptor móvel. Coleta-se informação de pelo menos 2 minutos;

10.- Faz-se o segundo intercâmbio de antenas para o qual aperta-se ROVE , tira-se as antenas e coloca-se na sua posição inicial;

11.- Pôr os dois receptores no modo STATIC. Novamente coloca-se a identificação do marco de referência no receptor fixo e a identificação do marco temporário no receptor móvel e

12.- Coletar informações de pelo menos 2 minutos nesta posição. Depois de se obter os dados, as observações cinemáticas podem ser inicializadas. Então no receptor móvel aperta-se ROVE e pode-se deslocar para outro marco. O receptor fixo tem que estar no modo STATIC durante o tempo que vai durar as observações cinemáticas.

## 5.5 EXECUÇÃO DOS MÉTODOS CINEMÁTICOS

Os métodos que foram executados são:

- O Método Interrompido;
- O Método Cinemático Contínuo e
- O Método Pseudo-Cinemático.

### 5.5.1 Execução do método interrompido.

Este método consiste em que o receptor móvel ao chegar

a um ponto tem que tomar as informações por poucos minutos, e no modo STATIC, e continuar de igual forma com os demais pontos. Porém, o receptor de referência tem que permanecer estático durante o tempo que leva as observações cinemáticas. Este método exige primeiramente uma inicialização, que pode ser feita por qualquer método antes mencionado (ver seção 4.1 e seção 5.4.2). Uma vez realizada a inicialização exigida, segue-se as seguintes etapas:

- 1.- Quando estiver esta pronto para se deslocar ao próximo ponto, aperta-se ROVE antes de movimentar a antena. Durante o deslocamento procurar-se (na medida do possível) manter a antena nivelada e orientada; evitar obstruções e acompanhar no receptor a sintonia de pelo menos 4 satélites;
- 2.- Após ter chegado ao ponto e mantido o sinal dos mesmos satélites nos dois receptores e que a antena esteja nivelada e estável, aperta-se a tecla STATIC e coleta-se informações de pelo menos 2 minutos;
- 3.- Entrar com identificação do ponto ID até 8 dígitos, por exemplo: PARAEC1. Utiliza-se números em forma seqüencial para os pontos e não é necessário colocar a identificação IDs a cada momento pois automaticamente o receptor aumenta em forma seqüencial o ponto ID para cada ocupação. Também tem-se que fazer anotações de campo para cada ponto, evitando deste modo alguma dificuldade que possa ocorrer no trabalho do pós-processamento;
- 4.- Entrar com a altura da antena do novo ponto. Utilizando-se a antena cinemática externa, com a altura fixa, então não é necessário entrar com a altura de cada ponto, basta

introduzir apenas uma vez, já que o receptor a mantém automaticamente para os demais pontos. Caso contrario, isto é não se utiliza a antena cinemática externa então é necessário entrar com a respectiva altura de cada ponto. Usando-se a antena externa geodésica plana para medir a altura precisa-se realizar 3 ou 4 vezes em diferentes posições. Estas devem estar variando dentro de 1 cm, caso isto não acontecer refaz-se as medidas; se novamente não ocorrer , então deve-se renivelar e

5.- Continuar com o método interrompido para os demais pontos.

Quando terminar a ocupação de todos os pontos planejados é recomendável que novamente ocupe-se o marco inicial do receptor móvel e coletar novas informações de pelo menos 2 minutos da linha base conhecida. Inicializou-se pelo método intercâmbio de antenas, então recomenda-se finaliza-lo pelo mesmo método. Isto não é necessário se o sinal dos satélites manteve-se durante o processo cinemático. Porém, ao executar outra inicialização é possível verificar a continuidade dos Inteiros . Além disso, porque no pós-procesamento pode-se procesar os pontos tanto para diante quanto para atrás, servindo como uma forma de verificação e de seguridade dos resultados.

No caso que exista perda de sinal pode-se detectá-las apertando a tecla STATUS e verificando o número de observações tanto contínuas (CONT-L1) como o número total (TOTAL-L1). Estes números sendo diferentes, significa que ocorreu a perda de

sinal; se o número de satélites é menor que 4, o receptor dispara um alarme com a indicação de voltar a um ponto anterior já rastreado, para reinicializar as observações. Esta reinicialização também pode ser feita por outros métodos e de diferentes formas, ver (TRIMBLE NAVIGATION, 1988).

No momento de estar fazendo as observações, capta-se o sinal de outro(s) satélite(s) e a antena estiver sobre algum ponto, então tem-se que rastrear por mais alguns minutos nesse ponto; caso contrário, tem-se que voltar a um ponto anterior e reinicializar as observações. Isto porque se deve calcular a Ambigüidade Inteira do(s) novo(s) satélite(s).

A execução do método cinemático interrompido com inicialização de linha base conhecida realizado no Centro Politécnico nos dias 11/06/93 e 17/06/93, teve como estação de referência o marco PARA, e como a estação inicial do levantamento cinemático o marco ECC3, ver quadro 04 e o marco ECAZ respectivamente. Já, com a inicialização de intercâmbio de antenas, também no Centro Politécnico, ocorrido nos dias 14/05/93 e 11/06/93, teve como estação de referência o marco PARA, e como a estação inicial do levantamento cinemático o ponto PONSWAP. E ainda, com inicialização de intercâmbio de antenas e reinicialização de linha base conhecida, realizado na Fazenda Canguiri, no dia 21/07/93, teve como estação de referência o pilar PI01, e como a estação inicial do levantamento cinemático o ponto PONSWAP e o pilar PI07.

**QUADRO 04 - CADERNETA DE CAMPO PARA O MÉTODO INTERROMPIDO COM LINHA BASE CONHECIDA (C.POLITÉCNICO)**

| CADERNETA DE CAMPO<br>(Cinemático)   |         |        |       |                                  |              |                      |      |
|--------------------------------------|---------|--------|-------|----------------------------------|--------------|----------------------|------|
| MÉTODO : INTERROMPIDO                |         |        |       |                                  |              |                      |      |
| INICIALIZAÇÃO : LINHA BASE CONHECIDA |         |        |       |                                  |              |                      |      |
| DATA: 11/ 06/ 93                     |         |        |       | OPERADOR: ALFONSO/ FRANCO/ JAMES |              |                      |      |
| BASE : PARA                          |         |        |       | HORA (UTC)                       |              |                      |      |
| LUGAR : C.POLITÉCNICO                |         |        |       | INICIO : 15:36 FINAL : 16:10     |              |                      |      |
| RECEPTOR/ANTENA                      |         |        |       | H.I.                             |              | NOME DO ARQUIVO      |      |
| FIXO : 1940 / 0364                   |         |        |       | y 0,2288 (m)                     |              | FIXO : FIX01621      |      |
| MÓVEL: 0362 / 0931                   |         |        |       | I                                |              | MÓVEL: ROVE1621      |      |
| COMENT.                              | ESTAÇÃO | HORA   |       | ANTENA                           | H.I.m<br>(m) | SATÉL.               | PDOP |
|                                      |         | INICIO | FIM   |                                  |              |                      |      |
| LBC                                  | ECC3    | 15:37  | 15:42 | 0931                             | 1,6517       | 01,28,21<br>15,25,31 | 2,0  |
| MARCO                                | ECC2    | 15:46  | 15:49 | 0931                             | 1,6517       | 01,28,21<br>15,25,31 | 2,0  |
| MARCO                                | ECC1    | 15:51  | 15:54 | 0931                             | 1,6517       | 01,28,21<br>15,25,31 | 2,2  |
| MARCO                                | ECAZ    | 15:57  | 16:01 | 0931                             | 1,6517       | 01,28,21<br>15,25,31 | 2,2  |
| MARCO                                | ECC3    | 16:05  | 16:08 | 0931                             | 1,6517       | 01,28,21<br>15,25,31 | 2,6  |
| observações                          |         |        |       | ECAZ CROQUI                      |              |                      |      |
| H.I.m é vertical                     |         |        |       | Δ                                |              |                      |      |
|                                      |         |        |       | ECC1<br>Δ                        |              |                      |      |
|                                      |         |        |       | PARA<br>Δ                        |              |                      |      |
|                                      |         |        |       | ECC3 Δ ECC2<br>Δ Δ               |              |                      |      |

### 5.5.2 Execução do método contínuo

O básico deste método é que se deve manter a sintonia de pelo menos 4 satélites, a altura da antena deve ser constante durante todo o tempo de execução, e que durante este tempo não exista perda de sinal. Portanto, antes de começar a realizar este método, tem-se que identificar as obstruções existentes ao longo do caminho a percorrer, de modo no planejamento procurar outro caminho a fim de evitá-las, ou para que com antecedência determinar a posição de pontos para que facilitem a reinicialização das observações cinemáticas quando ocorrer qualquer perda de sinal.

Este método exige primeiramente fazer uma inicialização antes de começar a realizá-lo, a qual pode ser feita por qualquer método anteriormente mencionado (ver secção 4.1 e secção 5.4.2).

A execução deste método é a mesma que a do método interrompido, com a diferença de que quando a tecla ROVE é apertada logo depois da etapa inicial, a antena tem que estar em movimento contínuo, pois o receptor móvel vai continuar gravando informação. Caso existam pontos de interesse no trajeto é possível de ser determinados, para o qual aperta-se INPUT/CHNGS ; USER INPUT e MARK EVENT NOW

A execução do método cinemático contínuo com inicialização de linha base conhecida, realizado no Centro Politécnico nos dias 12/05/93 e 11/06/93, teve como estação de referência o marco PARA, e como a estação inicial do levantamento cinemático o marco ECC1 e o marco ECC3 respectivamente. Já, com inicialização de intercâmbio de



antenas, também no Centro Politécnico, ocorrido nos dias 12/05/93 e 10/09/93, teve como estação de referência o marco PARA, e como a estação inicial do levantamento cinemático o ponto PONSAP, ver quadro 05. E ainda, com inicialização de intercâmbio de antenas e reinicialização de linha base conhecida, realizado na Fazenda Canguiri no dia 21/07/93, teve como estação de referência o pilar PI01, e como a estação inicial do levantamento cinemático o ponto PONSAP e o pilar PI07.

**QUADRO 05 - CADERNETA DE CAMPO PARA O MÉTODO CONTÍNUO COM  
INTERCÂMBIO DE ANTENAS (C.POLITÉCNICO)**

| CADERNETA DE CAMPO<br>(Cinemático)     |                 |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
|----------------------------------------|-----------------|--------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|------|
| MÉTODO : CONTÍNUO                      |                 |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
| INICIALIZAÇÃO : INTERCÂMBIO DE ANTENAS |                 |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
| DATA 10/ 09/ 93                        |                 |              |       | OPERADOR: ALFONSO/SILVIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                            |      |
| BASE : PARA                            |                 |              |       | HORA (UTC)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |                            |      |
| LUGAR : C. POLITÉCNICO                 |                 |              |       | INICIO : 19:12 FINAL : 19:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                            |      |
| RECEPTOR/ANTENA                        |                 |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
| FIXO : 0362/ 0343                      |                 | H.I.         |       | NOME DO ARQUIVO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
| MÓVEL: 1940/ 0931                      |                 | y 0,2288 (m) |       | FIXO : FIX02530                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
|                                        |                 | I            |       | MÓVEL: ROVE2531                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
| COMENT.                                | ESTAÇÃO         | HORA         |       | ANTENA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | H.I.m<br>(m) | SATÉL.                     | PDOP |
|                                        |                 | INICIO       | FIM   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                            |      |
| INICIO                                 | PARA<br>PONSWAP | 19:12        | 19:14 | 0343<br>0931                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1,3807       | 13,02,07<br>09,12,24<br>26 | 1,9  |
| SWAP1                                  | PARA<br>PONSWAP | 19:15        | 19:17 | 0931<br>0343                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | "            | "                          | "    |
| SWAP2                                  | PARA<br>PONSWAP | 19:18        | 19:20 | 0343<br>0931                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | "            | "                          | "    |
| EVENTO 1                               | ECC3            |              |       | 0931                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | "            | "                          | 2,1  |
| EVENTO 2                               | ECC2            |              |       | "                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | "            | "                          | "    |
| EVENTO 3                               | ECC1            |              |       | "                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | "            | "                          | "    |
| EVENTO 4                               | ECAZ            |              |       | "                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | "            | "                          | "    |
| observações                            |                 |              |       | CROQUI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |                            |      |
| H.I.m é vertical                       |                 |              |       | ECAZ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                            |      |
|                                        |                 |              |       | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\Delta_{(4)}</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\Delta_{(3)}</math> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math>\Delta_{(1)}</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\Delta_{(2)}</math> </div> </div> |              |                            |      |

### 5.5.3 Execução do método pseudo-cinemático.

Este método é similar ao método interrompido quanto a obtenção das observações no campo e similar ao método estático no pós-processamento; exceto que se pode perder o sinal dos satélites no transcurso entre os marcos.

Este método não exige nenhuma inicialização especial como nos métodos interrompido e contínuo. A cada marco tem-se que fazer duas visitas, sendo que para cada uma delas deve-se rastrear pelo menos 5 minutos, e com intervalo entre visitas de pelo menos 55 minutos (TSENG e LIOU, 199-), que é o mesmo que estar rastreando os 55 minutos continuamente. Isto faz com que se garanta a mudança da geometria dos satélites necessários para a execução deste método.

Quando se faz a reocupação dos pontos, deve-se assegurar que a identificação (ID) do marco e a posição da antena seja a mesma que na primeira visita.

A execução do método pseudo-cinemático, realizado no Centro Politécnico nos dias 11/06/93 e 17/06/93, teve como estação de referência o marco PARA. Já, na Fazenda Canguiri, ocorrido no dia 21/07/93, teve como estação de referência o pilar PI01.

**QUADRO 06 - CADERNETA DE CAMPO PARA O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO (C.POLITÉCNICO)**

| CADERNETA DE CAMPO<br>(Cinemático) |         |              |       |                                                     |              |                      |      |
|------------------------------------|---------|--------------|-------|-----------------------------------------------------|--------------|----------------------|------|
| MÉTODO : PSEUDO-CINEMÁTICO         |         |              |       |                                                     |              |                      |      |
| INICIALIZAÇÃO : -----              |         |              |       |                                                     |              |                      |      |
| DATA 11/ 06/ 93                    |         |              |       | OPERADOR: ALFONSO/ MAURICIO/ ROBERTO                |              |                      |      |
| BASE : PARA                        |         |              |       | HORA (UTC)                                          |              |                      |      |
| LUGAR : C. POLITÉCNICO             |         |              |       | INICIO : 14:35 FINAL : 16:10                        |              |                      |      |
| RECEPTOR/ANTENA                    |         | H.I.         |       | NOME DO ARQUIVO                                     |              |                      |      |
| FIXO : 1940/ 0343                  |         | v 0,2288 (m) |       | FIXO : FIX01627                                     |              |                      |      |
| MÓVEL: 0362/ 0931                  |         | I            |       | MÓVEL: ROVE1627                                     |              |                      |      |
| COMENT.                            | ESTAÇÃO | HORA         |       | ANTENA                                              | H.I.m<br>(m) | SATÉL.               | PDOP |
|                                    |         | INICIO       | FIM   |                                                     |              |                      |      |
| 1 <sup>ra</sup> OCUPAÇ.            | ECC3    | 14:37        | 14:47 | 0931                                                | 1,6517       | 01,28,21<br>15,25,31 | 2,5  |
| "                                  | ECC2    | 14:49        | 14:59 | "                                                   | "            | 14,29                | 2,3  |
| "                                  | ECC1    | 15:01        | 15:11 | "                                                   | "            | "                    | "    |
| "                                  | ECAZ    | 15:15        | 15:25 | "                                                   | "            | 01,28,15<br>25,31,14 | 2,8  |
| 2 <sup>ra</sup> OCUPAÇ.            | ECC3    | 15:30        | 15:40 | "                                                   | "            | 29                   | 2,8  |
| "                                  | ECC2    | 15:42        | 15:52 | "                                                   | "            | "                    | 2,5  |
| "                                  | ECC1    | 15:53        | 16:03 | "                                                   | "            | "                    | 3,1  |
| "                                  | ECAZ    | 15:07        | 15:17 | "                                                   | "            | 15,25,31<br>14,29    | 2,9  |
| observações                        |         |              |       | CROQUI                                              |              |                      |      |
| H.I.m é vertical                   |         |              |       | Δ ECAZ<br>Δ ECC1<br>PARA<br>Δ ECC3      Δ ECC2<br>Δ |              |                      |      |

## 6. PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Para a realização do pós-processamento dos dados GPS coletados com os receptores TRIMBLE 4000SST, foi utilizado o pacote de programas da TRIMVEC-PLUS.

Os dados que vão servir para comparação de precisão para os diferentes métodos de posicionamento cinemático relativo GPS, foram obtidas a partir de um posicionamento estático regular que foi realizado no dia 08/01/89 nos marcos existentes no Centro Politécnico como mostra a figura 08. As observações e o pós-processamento foram feitas utilizando as duas frequências (L1/L2) (CAMPOS, 1989). Os resultados obtidos são mostrados na Tabela.01

TABELA 01 - RESULTADOS DAS DISTÂNCIAS E DESNÍVEIS DO POSICIONAMENTO ESTÁTICO (CENTRO POLITÉCNICO)

| LINHA       | DISTÂNCIAS<br>MÉDIAS<br>(m) | DESNÍVEIS<br>(m) |
|-------------|-----------------------------|------------------|
| PARA - ECC2 | 25,548                      | -1,335           |
| PARA - ECC1 | 24,756                      | -0,186           |
| PARA - ECAZ | 197,998                     | 2,560            |
| PARA - ECC3 | 25,592                      | -1,998           |

FONTE : PROJETOS E RESULTADOS (CAMPOS, 1989)

Para o trabalho realizado na Fazenda Experimental Canguiri, tomou-se os dados que foram calculados no trabalho de GRIPP (1986). Foram utilizados o distanciômetro ELTA 2 e Telurômetro MA100 para calcular as distâncias entre os pilares. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 02.

**TABELA 02 - RESULTADOS DE DISTÂNCIAS ENTRE OS PILARES  
(FAZENDA CANGUIRI)**

| LINHA       | DISTÂNCIAS MÉDIAS |              |
|-------------|-------------------|--------------|
|             | ELTA 2<br>(m)     | MA100<br>(m) |
| PI01 - PI02 | 70,8671           | 70,8717      |
| PI01 - PI03 | 222,7846          | 222,7873     |
| PI01 - PI04 | 385,8429          | 385,8428     |
| PI01 - PI05 | 648,2466          | 648,2406     |
| PI01 - PI06 | 759,6740          | 759,6710     |
| PI01 - PI07 | 789,9117          | 789,9073     |

**FONTE : DISSERTAÇÃO (GRIPP, 1986)**

Para a obtenção dos desníveis foi feito um nivelamento geométrico, utilizando-se o nível NI050 (GRIPP, 1986). Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 03.

**TABELA 03 - RESULTADOS DOS DESNIVEIS ENTRE  
OS PILARES (FAZENDA CANGUIRI)**

| <b>LINHA</b> | <b>DESNÍVEIS<br/>MÉDIOS<br/>(m)</b> |
|--------------|-------------------------------------|
| PI01 - PI02  | -0,918                              |
| PI01 - PI03  | -2,922                              |
| PI01 - PI04  | -2,324                              |
| PI01 - PI05  | -1,839                              |
| PI01 - PI06  | -0,403                              |
| PI01 - PI07  | 0,205                               |

**FONTE : DISSERTAÇÃO (GRIPP, 1986)**

As observações que foram feitas tanto no Centro Politécnico como na Fazenda Canguiri têm dois propósitos: o primeiro para verificar a precisão alcançada em distância, e o segundo para verificar a precisão alcançada em desnível.

#### 6.1 PROCESSAMENTO DE DADOS.

Para o pós processamento do transporte de coordenadas, utilizou-se as duas frequências e o código P. As listagens dos resultados do transporte para o pilar PI01 (da Fazenda Canguiri) são mostrados no Anexo 03. Os resultados obtidos são:

Coordenadas do pilar PI01 no sistema WGS-84.

$$\phi = 25^{\circ} 23' 20,91554'' \text{ Sul}$$

$$\Lambda = 49^{\circ} 07' 25,04147'' \text{ Oeste}$$

$$h = 907,5792 \text{ m}$$

Uma forma para saber se as observações são confiáveis, é mediante o cálculo de duas estatísticas: o RDOP "Relative Dilution of Precision" e o RMS "Root Mean Square". Geralmente, valores pequenos destas, indicam bons resultados, maior informação ver (GOAD, c.a 1988), (TRIMBLE NAVIGATION, 1991).

A TRIMBLE NAVIGATION (1991, p.71), recomenda os valores, conforme o quadro 07

QUADRO 07 - VALORES PARA O RDOP E O RMS

| MÉTODO            | RDOP<br>(m/CICLO) | RMS<br>(CICLOS) |
|-------------------|-------------------|-----------------|
| INTERROMPIDO      | 0,5               | 0,06 - 0,02     |
| CONTÍNUO          | 0,5               | 0,06 - 0,02     |
| PSEUDO-CINEMÁTICO | 0,9               | 0,06 - 0,02     |

FONTE : TRIMBLE NAVIGATION (1991)

As tabelas do 04 à 08, mostram os resultados obtidos no pós-processamento de todas as visitas realizadas e dos diferentes métodos executados no Centro Politécnico (ver secção 5.4).

A tabela 04 mostra os resultados do método interrompido com inicialização de linha base conhecida. Na primeira visita, em cada marco o tempo de rastreio foi de 3 minutos, um PDOP < 2,5, e sintonizando 6 satélites. Na linha



base deixou-se 5 minutos. Na segunda visita, o tempo de rastreio em cada marco foi de 2 minutos, PDOP < 3 e sintonizando 5 satélites. Na linha base deixou-se 3 minutos.

TABELA 04 - RESULTADOS DO MÉTODO INTERROMPIDO COM LINHA BASE CONHECIDA (C.POLITÉCNICO).

| VISIT | LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desvio<br>Padrão<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|-------|----------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1     | PARAECC1 | 24,8568                       | 0,0050                  | -0,5179         | 0,168             | 0,012          |
|       | PARAECC2 | 25,5220                       | 0,0051                  | -1,3031         | 0,160             | 0,013          |
|       | PARAECC3 | 25,5872                       | 0,0051                  | -1,9520         | 0,168             | 0,013          |
|       | PARAECAZ | 197,9977                      | 0,0054                  | 2,6056          | 0,181             | 0,011          |
| 2     | PARAECC1 | 24,8550                       | 0,0050                  | -0,5185         | 0,268             | 0,008          |
|       | PARAECC2 | 25,5150                       | 0,0051                  | -1,3033         | 0,270             | 0,010          |
|       | PARAECC3 | 25,5925                       | 0,0051                  | -1,9657         | 0,273             | 0,009          |
|       | PARAECAZ | 197,9954                      | 0,0054                  | 2,6146          | 0,215             | 0,010          |

A tabela 05 mostra os resultados do método interrompido com inicialização de intercâmbio de antenas. Na primeira visita, em cada marco o tempo de rastreio foi de 3 minutos, um PDOP < 4 e sintonizando 7 satélites. Em cada intercâmbio rastreou-se 3 minutos. O pós-processamento foi realizado com dados de 5 satélites, pois no intercâmbio de antenas houve perda do sinal de um satélite, e no transcurso entre os marcos houve outra perda do sinal do outro satélite. Na segunda visita, o tempo de rastreio em cada marco foi de 2

minutos, PDOP < 2,5 e sintonizando 6 satélites. Em cada intercâmbio de antenas deixou-se 3 minutos de rastreio.

TABELA 05 - RESULTADOS DO MÉTODO INTERROMPIDO COM INTERCÂMBIO DE ANTENAS (C.POLITÉCNICO).

| VISIT | LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desvio<br>Padrão<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|-------|----------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1     | PARAECC1 | 24,8451                       | 0,0050                  | -0,5154         | 0,225             | 0,009          |
|       | PARAECC2 | 25,5260                       | 0,0051                  | -1,2906         | 0,223             | 0,015          |
|       | PARAECC3 | 25,5821                       | 0,0051                  | -1,9548         | 0,221             | 0,009          |
|       | PARAECAZ | 197,9962                      | 0,0054                  | 2,6197          | 0,226             | 0,011          |
| 2     | PARAECC1 | 24,8526                       | 0,0050                  | -0,5241         | 0,300             | 0,008          |
|       | PARAECC2 | 25,5203                       | 0,0051                  | -1,3038         | 0,293             | 0,040          |
|       | PARAECC3 | 25,5691                       | 0,0051                  | -1,9622         | 0,302             | 0,030          |
|       | PARAECAZ | 197,9943                      | 0,0054                  | -2,5988         | 0,298             | 0,010          |

A tabela 06 mostra os resultados do método contínuo com inicialização de linha base conhecida. Na primeira visita, para todos os eventos utilizou-se um PDOP < 2 com sintonia de 8 satélites e na linha base deixou-se 4 minutos. Aqui foi tomado como ponto de partida o marco ECC1, mas no pós-processamento não houve convergência. Portanto, tomou-se os valores de  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ , calculados com o método interrompido com inicialização de intercâmbio de antenas realizado no dia 14/05/93, e com estas diferenças de coordenadas realizou-se novamente o pós-processamento. Na segunda visita, para todos

os eventos foi usado um PDOP < 4 com sintonia de 6 satélites e na linha base deixou-se 1,5 minutos de rastreio.

TABELA 06 - RESULTADOS DO MÉTODO CONTÍNUO COM LINHA BASE CONHECIDA (C.POLITÉCNICO).

| VISIT | LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desní vel<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|-------|----------|-------------------------------|------------------|-------------------|----------------|
| 1     | PARAECC1 | 24,8460                       | -0,5273          | 0,182             | 0,017          |
|       | PARAECC2 | 25,5165                       | -1,3012          | 0,181             | 0,019          |
|       | PARAECC3 | 25,5852                       | -1,9662          | 0,180             | 0,018          |
|       | PARAECAZ | 197,9984                      | 2,5992           | 0,177             | 0,013          |
| 2     | PARAECC1 | 24,8694                       | -0,509           | 0,269             | 0,005          |
|       | PARAECC2 | 25,5219                       | -1,2871          | 0,265             | 0,002          |
|       | PARAECC3 | 25,5986                       | -1,9729          | 0,462             | 0,012          |
|       | PARAECAZ | 197,9498                      | 2,6186           | 0,284             | 0,004          |

A tabela 07 mostra os resultados do método contínuo com inicialização de intercâmbio de antenas. Na primeira visita, para todos os eventos houve um PDOP < 2 e sintonia de 6 satélites e em cada intercâmbio de antenas deixou-se 4 minutos de rastreio. Na segunda visita, para todos os eventos teve-se um PDOP < 2,1 e sintonia de 7 satélites, em cada intercâmbio de antena deixou-se 2 minutos de rastreio.

TABELA 07 - RESULTADOS DO MÉTODO CONTÍNUO COM INTERCÂMBIO DE ANTENAS (C.POLITÉCNICO).

| VISIT | LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|-------|----------|-------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1     | PARAECC1 | 24,8620                       | -0,5254         | 0,216             | 0,017          |
|       | PARAECC2 | 25,5161                       | -1,3038         | 0,215             | 0,008          |
|       | PARAECC3 | 25,5626                       | -1,9652         | 0,214             | 0,011          |
|       | PARAECAZ | 197,9901                      | 2,5942          | 0,218             | 0,008          |
| 2     | PARAECC1 | 24,8568                       | -0,5238         | 0,174             | 0,015          |
|       | PARAECC2 | 25,5035                       | -1,3052         | 0,174             | 0,008          |
|       | PARAECC3 | 25,5880                       | -1,9632         | 0,175             | 0,014          |
|       | PARAECAZ | 197,9997                      | 2,6036          | 0,174             | 0,011          |

A tabela 08 mostra os resultados obtidos no método pseudo-cinemático. Na primeira visita foi rastreado com um mínimo de 5 satélites, o tempo de rastreio em cada marco foi de 10 minutos e um PDOP < 3 e a reocupação foi feita depois de 50 minutos de intervalo. Na segunda visita, foi rastreado com um mínimo de 4 satélites, o tempo de rastreio em cada marco foi de 10 minutos e um PDOP < 4 e a reocupação foi feita depois de 60 minutos de intervalo.

TABELA 08 - RESULTADOS DO MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO (C.POLITÉCNICO).

| VISIT | LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desvio<br>Padrão<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|-------|----------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1     | PARAECC1 | 24,8735                       | 0,0050                  | -0,5596         | 0,322             | 0,035          |
|       | PARAECC2 | 25,5200                       | 0,0051                  | -1,3639         | 0,350             | 0,032          |
|       | PARAECC3 | 25,6844                       | 0,0051                  | -1,9988         | 0,377             | 0,027          |
|       | PARAECAZ | 197,9879                      | 0,0054                  | 2,5695          | 0,335             | 0,023          |
| 2     | PARAECC1 | 24,8631                       | 0,0050                  | -0,5098         | 0,644             | 0,014          |
|       | PARAECC2 | 25,7542                       | 0,0051                  | -1,3080         | 2,746             | 0,023          |
|       | PARAECC3 | 25,6144                       | 0,0051                  | -1,9409         | 0,364             | 0,016          |
|       | PARAECAZ | 197,9566                      | 0,0054                  | 2,6209          | 2,137             | 0,011          |

As tabelas de 09 à 11, mostram os resultados obtidos no pós-processamento, de todas as visitas realizadas e dos diferentes métodos executados na Fazenda Canguiri (ver secção 5.4).

A tabela 09 mostra, os resultados obtidos no método interrompido com inicialização de intercâmbio de antenas e reinicialização com linha base conhecida. Em cada pilar rastreou-se por dois minutos, com um mínimo de 5 satélites e um PDOP < 5.

TABELA 09- RESULTADOS DO MÉTODO INTERROMPIDO COM LINHA BASE CONHECIDA E INTERCÂMBIO DE ANTENAS (F.CANGUIRI).

| LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desvio<br>Padrão<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|----------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| PI01PI02 | 70,8755                       | 0,0051                  | -0,8870         | 0,223             | 0,014          |
| PI01PI03 | 222,8087                      | 0,0054                  | -2,8955         | 0,226             | 0,013          |
| PI01PI04 | 385,8512                      | 0,0058                  | -2,2687         | 0,462             | 0,012          |
| PI01PI05 | 648,2551                      | 0,0063                  | -1,7626         | 0,524             | 0,009          |
| PI01PI07 | 789,9191                      | 0,0066                  | 0,2560          | 0,515             | 0,015          |

A tabela 10 mostra os resultados obtidos no método contínuo com inicialização de intercâmbio de antenas e reinicialização com linha base conhecida. Para cada evento rastreou-se com um mínimo de 5 satélites e com um PDOP < 3.

TABELA 10 - RESULTADOS DO MÉTODO CONTÍNUO COM LINHA BASE CONHECIDA E INTERCÂMBIO DE ANTENAS (F.CANGUIRI).

| LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|----------|-------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| PI01PI02 | 70,8647                       | -0,8987         | 0,317             | 0,017          |
| PI01PI03 | 222,8229                      | -2,8819         | 0,315             | 0,014          |
| PI01PI04 | 385,8414                      | -2,2895         | 0,454             | 0,017          |
| PI01PI05 | 648,2135                      | -1,7964         | 0,265             | 0,009          |
| PI01PI07 | 789,9121                      | 0,2467          | 0,328             | 0,007          |

A tabela 11 mostra os resultados obtidos no método pseudo-cinemático. Em cada pilar rastreou-se por 13 minutos com um mínimo de 5 satélites e um PDOP < 5 e a reocupação se fez depois de uma hora. No ponto PI07 na primeira ocupação somente obteve-se dois minutos de informação.

TABELA 11 - RESULTADOS DO MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO (F.CANGUIRI).

| LADO     | Distância<br>Inclinada<br>(m) | Desvio<br>Padrão<br>(m) | Desnível<br>(m) | RDOP<br>(m/ciclo) | RMS<br>(ciclo) |
|----------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| PI01PI02 | 70,8802                       | 0,0051                  | -0,9055         | 0,214             | 0,014          |
| PI01PI03 | 222,8091                      | 0,0054                  | -2,8769         | 0,228             | 0,016          |
| PI01PI04 | 386,0196                      | 0,0058                  | -3,2599         | 0,912             | 0,090          |
| PI01PI05 | 648,2619                      | 0,0063                  | -1,7880         | 0,336             | 0,021          |
| PI01PI07 | 789,9076                      | 0,0066                  | 0,3140          | 1,613             | 0,014          |

## 6.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS.

### 6.2.1 No Centro Politécnico:

Depois de realizado o pós-processamento, calculou-se as diferenças obtidas entre os métodos cinemáticos e o estático, tanto em distância como em desnível conforme a tabela 12.

**TABELA 12 - DIFERENÇAS ENTRE RESULTADOS OBTIDOS  
COM OS POSICIONAMENTOS CINEMÁTICO  
E ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).**

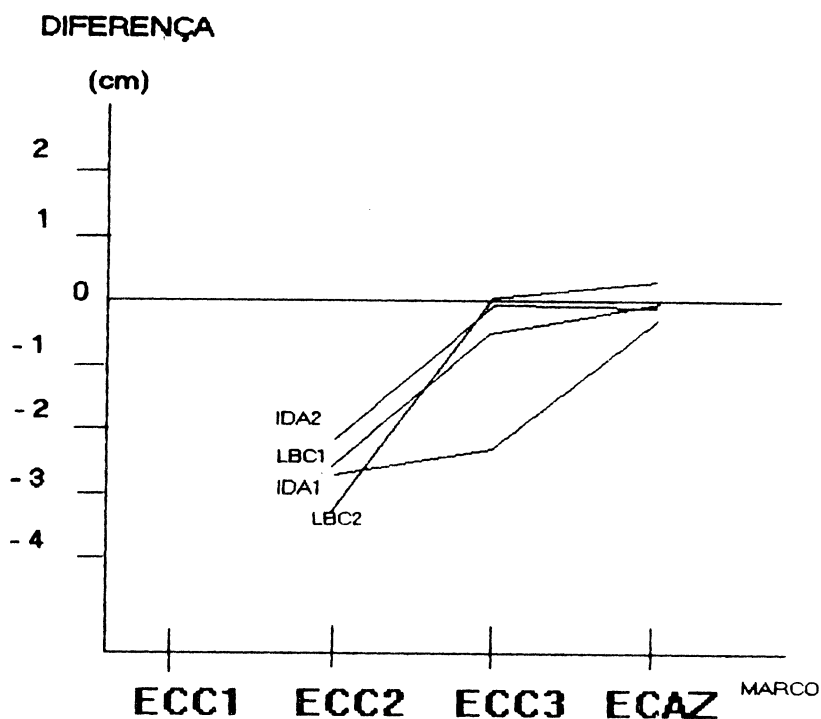
| VISITA  |       | 1              |                | 2              |                 |
|---------|-------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| MÉTODO  | MARCO | DI. IN<br>(cm) | DESNÍV<br>(cm) | DI. IN<br>(cm) | DESNÍV.<br>(cm) |
| INT-LBC | ECC1  | 10,08          | -33,19         | 9,90           | -33,25          |
|         | ECC2  | - 2,60         | 3,19           | - 3,30         | 3,17            |
|         | ECC3  | - 0,48         | 4,60           | 0,05           | 3,23            |
|         | ECAZ  | - 0,03         | 4,56           | 0,26           | 5,46            |
| INT-IDA | ECC1  | 9,66           | -33,81         | 8,91           | -32,94          |
|         | ECC2  | - 2,77         | 3,12           | - 2,20         | 4,44            |
|         | ECC3  | - 2,29         | 3,58           | - 0,99         | 4,32            |
|         | ECAZ  | - 0,37         | 3,88           | - 0,18         | 5,97            |
| CON-LBC | ECC1  | 10,10          | -34,13         | 11,34          | -32,30          |
|         | ECC2  | - 3,15         | 3,38           | - 2,61         | 4,79            |
|         | ECC3  | - 0,68         | 3,18           | 0,66           | 2,51            |
|         | ECAZ  | 0,04           | 3,92           | - 4,82         | 5,86            |
| CON-IDA | ECC1  | 10,60          | -33,94         | 10,08          | -33,78          |
|         | ECC2  | - 3,19         | 3,12           | - 4,45         | 2,98            |
|         | ECC3  | - 2,94         | 3,28           | - 0,40         | 3,48            |
|         | ECAZ  | - 0,79         | 3,42           | 0,17           | 4,36            |
| PSE-CIN | ECC1  | 29,75          | -37,36         | 10,71          | - 32,38         |
|         | ECC2  | - 2,80         | 2,89           | 8,00           | 2,70            |
|         | ECC3  | 9,24           | - 0,08         | 2,24           | 5,71            |
|         | ECAZ  | - 1,01         | 0,95           | - 4,14         | 6,09            |



Observando a tabela 12, mostra que o marco ECC1, apesar do que seu RDOP e RMS são todos menores do que o recomendado (ver tabelas de 04 à 08) as diferenças em distância e desnível são maiores comparadas com os outros pontos. Conclui-se que as coordenadas do ponto ECC1 obtidas pelo método estático não são corretas.

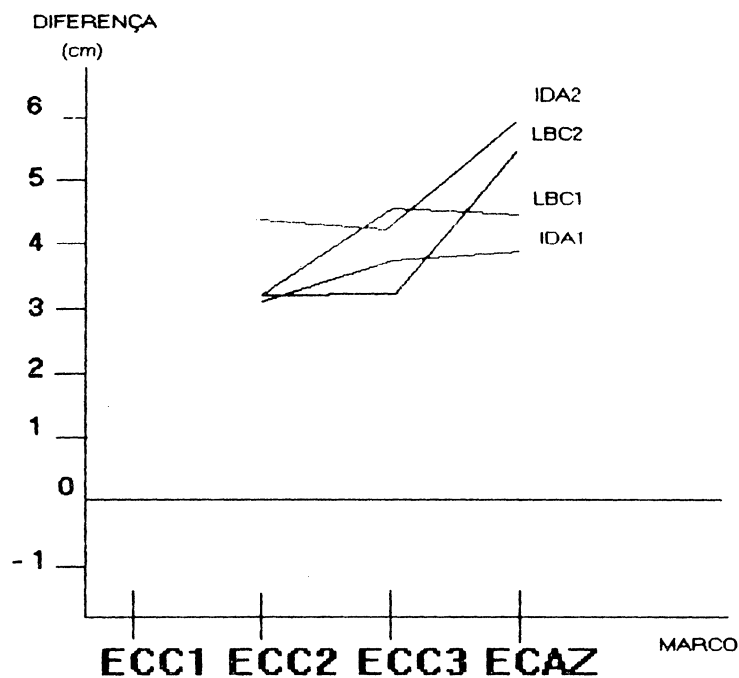
A tabela 12 mostra o interrompido com inicialização de linha base conhecida, indicando que é suficiente rastrear por dois minutos em cada marco e com 6 satélites. A mesma tabela mostra, que a diferença em distância é menor que  $|3,5|$  cm, podendo chegar ao milímetro, ver gráfico 01. A diferença em desnível está entre 3 cm à 5,5 cm, ver gráfico 02. Já, com inicialização de intercâmbio de antenas, indica que a diferença em distância aumentou na primeira visita, isto porque o PDOP foi maior (ver secção 6.1). Pode-se observar que a diferença em distância é menor que  $|3|$  cm, podendo chegar até milímetro, ver gráfico 01. A diferença em desnível está entre 3 cm à 6 cm, ver gráfico 02.

**GRÁFICO 01 - DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE O MÉTODO INTERROMPIDO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).**



FONTE : TABELA 12

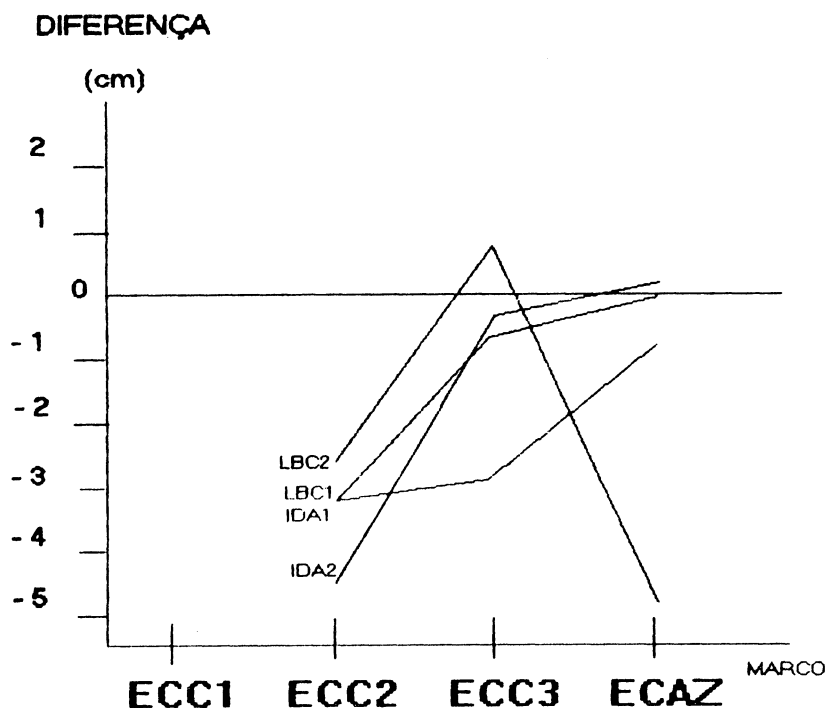
**GRÁFICO 02 - DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE O MÉTODO INTERROMPIDO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).**



FONTE : TABELA 12

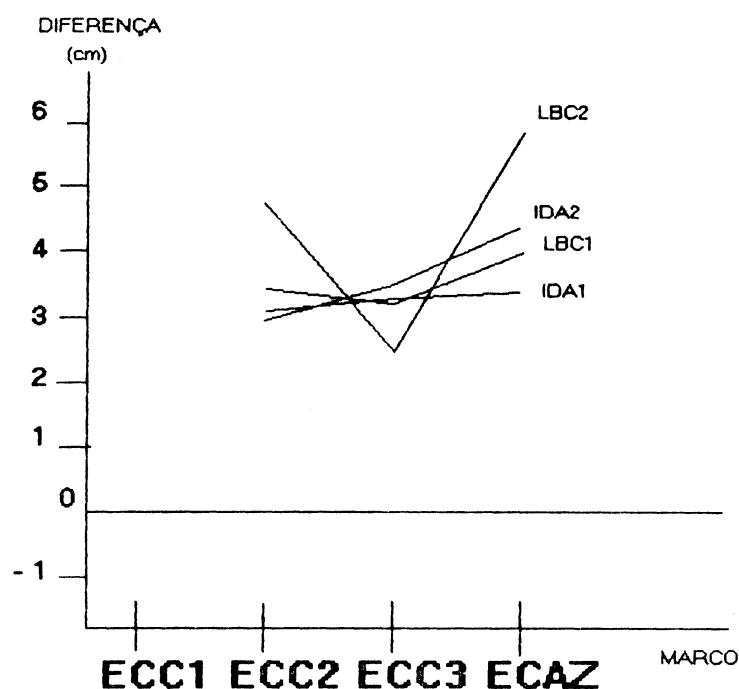
O método contínuo com inicialização de linha base conhecida, observando a tabela 12, mostra que a diferença tanto em distância como em desnível foram maiores na segunda visita, isto porque o PDOP aumentou e o número de satélites rastreados diminuiu (ver secção 6.1). Pode-se observar que a diferença em distância é menor que  $|5|$  cm, podendo chegar ao milímetro, ver gráfico 03. A diferença em desnível está entre 2,5 cm à 6 cm, ver gráfico 04. Já com inicialização de intercâmbio de antenas, mostra que a diferença em distância é menor que  $|5|$  cm, podendo chegar até milímetro, ver gráfico 03. A diferença em desnível esta entre 3 cm e 4,5 cm, ver, gráfico 04.

GRÁFICO 03 - DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE O MÉTODO CONTÍNUO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).



FONTE : TABELA 12

**GRÁFICO 04 - DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE O MÉTODO CONTÍNUO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).**

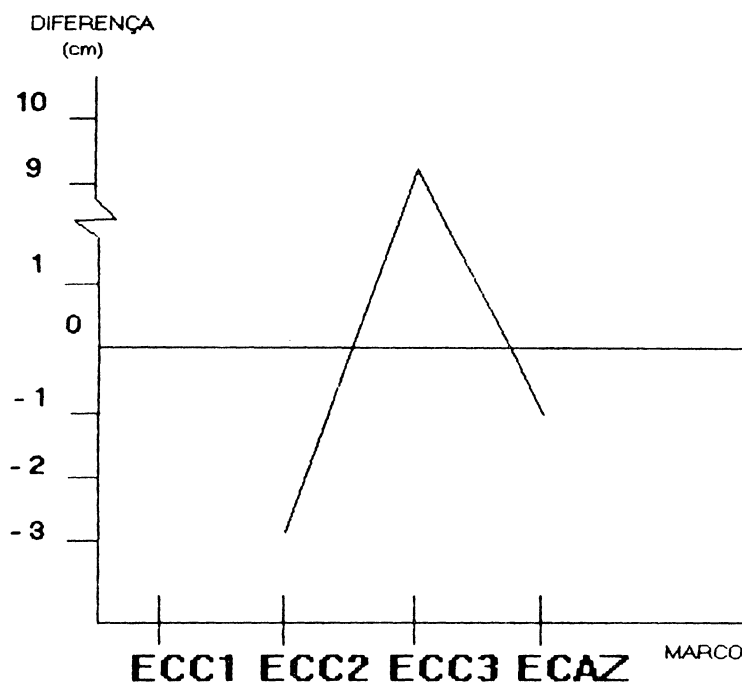


FONTE : TABELA 12

No método pseudo-cinemático, observando a tabela 12, mostra que os resultados da primeira visita são melhores que os da segunda visita, isto porque o PDOP foi menor; mas a diferença em distância do marco ECC3 é maior que os outros, devido a que a reocupação do ponto foi realizado com apenas um intervalo de 50 minutos, o que prejudicou os resultados. Observando a tabela 08, o RDOP dos marcos ECC2 e ECAZ da segunda visita são maiores que os recomendados, sem dúvida alguma a sintonia de somente 4 satélites contribuiu para não obter bons resultados; portanto, não são confiáveis, exceto do marco ECC3. A diferença em distância está entre |1| cm à

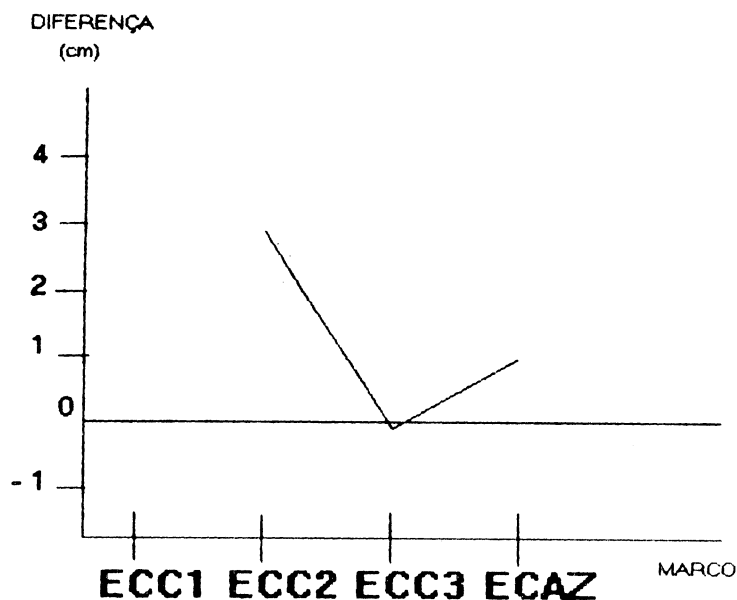
|9,5| cm, ver gráfico 05. A diferença em desnível está entre |1| cm à |6| cm, ver gráfico 06

**GRÁFICO 05 - DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).**



FONTE : TABELA 12

**GRÁFICO 06 - DIFERENÇA EM DESNÍVEL ENTRE O MÉTODO PSEUDO-CINEMÁTICO E O MÉTODO ESTÁTICO (C.POLITÉCNICO).**



FONTE : TABELA 12

#### 6.2.2 Na Fazenda Canguiri:

Depois de realizado o pós-processamento, calculou-se as diferenças de distâncias, entre os métodos cinemáticos com os resultados obtidos com o ELTA 2 e com o MA100. Os resultados obtidos estão na tabela 13. As diferenças em desnível foram determinados entre os métodos cinemáticos e o nivelamento geométrico; os resultados obtidos estão na tabela 14.

**TABELA 13 - DIFERENÇAS ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS COM O POSICIONAMENTO CINEMÁTICO E O DISTÂNCIOMETRO ELTA 2, E O TELURÔMETRO MA100 (F.CANGUIRI).**

| MÉTODO      | PILAR | ELTA 2        | MA100         |
|-------------|-------|---------------|---------------|
|             |       | DI.IN<br>(cm) | DI.IN<br>(cm) |
| INT-IDA-LBC | PI02  | 0,84          | 0,38          |
|             | PI03  | 2,41          | 2,14          |
|             | PI04  | 0,83          | 0,84          |
|             | PI05  | 0,85          | 1,45          |
|             | PI07  | 0,74          | 1,18          |
| CON-IDA-LBC | PI02  | - 0,24        | - 0,70        |
|             | PI03  | 3,83          | 3,56          |
|             | PI04  | - 0,15        | - 0,14        |
|             | PI05  | - 3,31        | - 2,71        |
|             | PI07  | 0,04          | 0,48          |
| PSE-CIN     | PI02  | 1,31          | 0,85          |
|             | PI03  | 2,45          | 2,18          |
|             | PI04  | 17,66         | 17,67         |
|             | PI05  | 1,53          | 2,13          |
|             | PI07  | - 0,41        | 0,03          |

**TABELA 14 - DIFERENÇAS ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS COM O POSICIONAMENTO CINEMÁTICO E O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO (F.CANGUIRI).**

| MÉTODO | INT-IDA-LBC     | CON-IDA-LBC     | PSE-CIN         |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PILAR  | DESNÍ V<br>(cm) | DESNÍ V<br>(cm) | DESNÍ V<br>(cm) |
| PI02   | 3,10            | 1,93            | 1,25            |
| PI03   | 2,65            | 4,01            | 4,51            |
| PI04   | 5,53            | 3,45            | -93,59          |
| PI05   | 7,64            | 4,26            | 5,10            |
| PI07   | 5,10            | 4,17            | 10,90           |

A tabela 13 mostra que as diferenças em distância obtidas no método interrompido (exceto o pilar PI03), comparadas com o distanciômetro ELTA 2 são menores que 1 cm, ver gráfico 07; comparadas com o telurômetro MA100 são menores que 1,5 cm , ver gráfico 08.

A tabela 13 mostra, que as diferenças em distância obtidas com o método contínuo, quando comparadas tanto com o distanciômetro ELTA 2 quanto ao telurômetro MA100, são menores que |4| cm, podendo chegar ao milímetro ver gráfico 07 e gráfico 08 respectivamente.

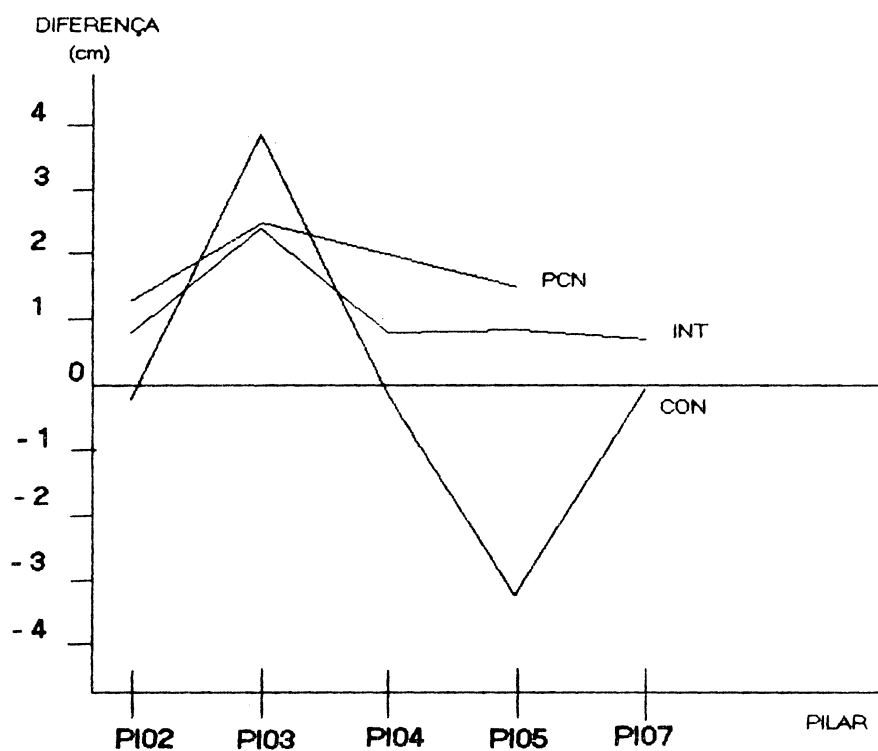
No método pseudo-cinemático, observando a tabela 11, pode-se ver que o RDOP é o RMS para o pilar PI04 são maiores que os recomendados , portanto estes resultados não são confiáveis. No ponto PI07 o RDOP é maior que o recomendado, isto deve-se ao fato que na primeira ocupação obteve-se



informação somente por dois minutos , o que contribuiu para não se ter bons resultados, portanto, também não é confiável.

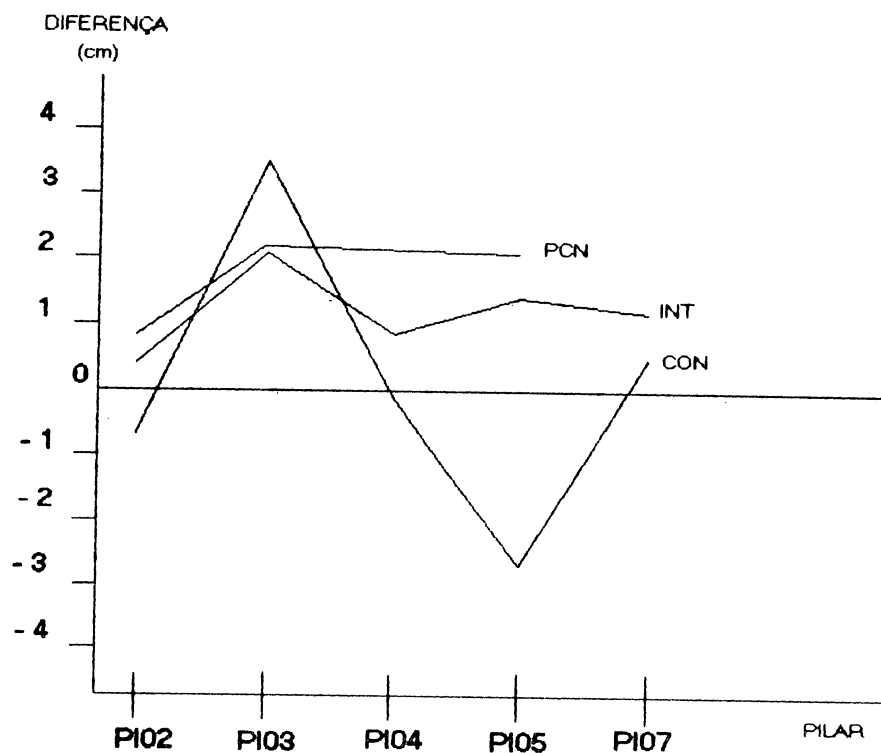
Na tabela 13, mostra que as diferenças em distância obtidas com o método pseudo-cinemático (exceto os pilares PI04 e PI07) comparadas com o distanciômetro ELTA 2 está entre  $|1|$  cm e  $|2,5|$  cm, ver gráfico 07; comparadas com o telurômetro MA100 são menores que 2.2 cm, ver gráfico 08.

**GRÁFICO 07 - DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE OS MÉTODOS CINEMÁTICOS COM O DISTANCIÔMETRO ELTA 2 (F.CANGUIRI).**



**FONTE : TABELA 13**

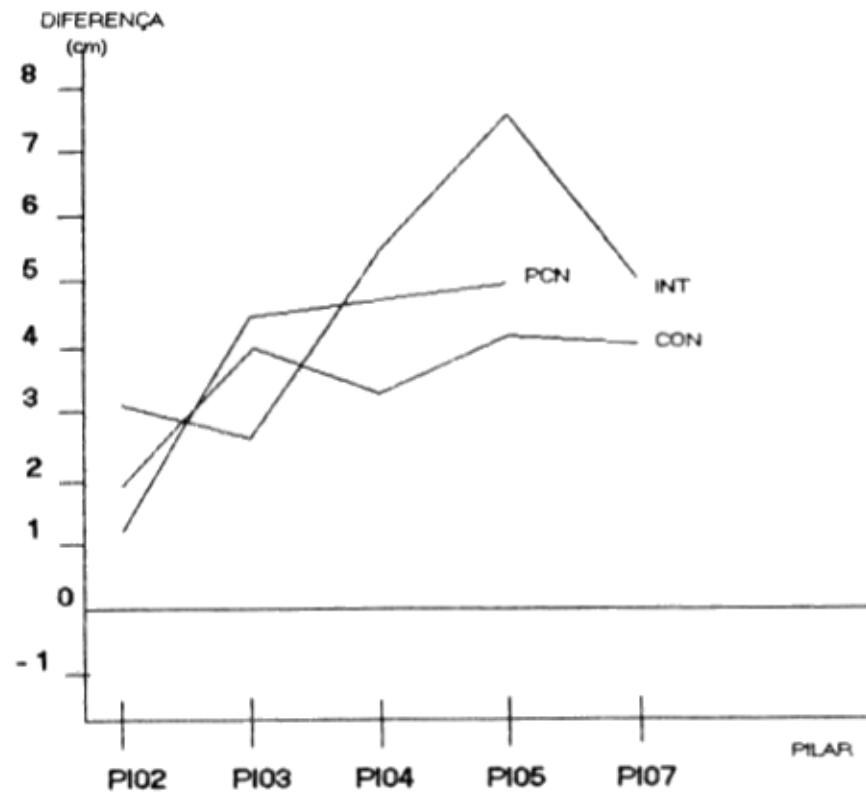
**GRÁFICO 08 - DIFERENÇA EM DISTÂNCIA ENTRE OS MÉTODOS CINEMÁTICOS COM O TELURÔMETRO MA100 (F.CANGUIRI).**



FONTE : TABELA 13

A tabela 14, mostra que as diferenças em desnível (exceto os pilares PI04 e PI07 do método pseudo-cinemático) obtidas no método interrompido, estão entre 2,5 cm e 7,6 cm; no método contínuo entre 2 cm e 4,5 cm e no método pseudo-cinemático entre 1 cm e 5 cm, ver gráfico 09.

GRÁFICO 09 - DIFERENÇA DE DESNÍVEL ENTRE OS  
MÉTODOS CINEMÁTICOS COM O  
NIVELAMENTO GEOMÉTRICO (F.CANGUIRI)



FONTE : TABELA 14

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÕES

Baseados nos diferentes testes realizados e observando os resultados obtidos, pode-se concluir:

Comparada com o levantamento terrestre a precisão obtida em distância, com o método interrompido (exceto o pilar PI03), está dentro de 1,5 cm; com o método contínuo está dentro de |4| cm e com o método pseudo-cinemático (exceto os pilares PI04 e PI07), está dentro de |2,5| cm.

Comparada com o nivelamento geométrico, a precisão conseguida em desnível com os diferentes métodos cinemáticos (exceto o pilar PI05 do método interrompido), está entre 1cm e 5 cm.

Salienta-se que para a obtenção destes resultados, foi empregado uma estação de referência, observando-se a portadora L1, e somente uma visita foi realizada, o que leva a acreditar que com um maior número de visitas e com mais estações de referências, pode-se ter maior precisão.

- Dos métodos aplicados na obtenção da distância, o interrompido é o mais preciso que os outros métodos, enquanto

que o pseudo-cinemático vem a seguir. Além da vantagem do método contínuo ser o mais rápido, ele proporciona a posição da antena em toda sua trajetória. No que tange ao desnível, a precisão conseguida pelos métodos cinemáticos pode-se dizer que é a mesma.

- Os métodos cinemáticos permitem determinar a existência de pontos que foram incorretamente posicionados por qualquer método realizado, e indicam a existência de erros grosseiros nos pontos com rapidez e em maior número. É assim, que no marco ECC1 foram encontrados erros em distância e desnível de aproximadamente 10 cm e 30 cm respectivamente.

Como nos marcos localizados no Centro Politécnico as observações e o pós-processamento foram feitos simultaneamente com o método estático e foi encontrado erro no marco ECC1; deste modo as coordenadas dos demais marcos estariam sujeitos à propagação deste erro. Por conseguinte, conclui-se que os resultados obtidos no posicionamento estático realizado no dia 08/01/89 não são bons. Portanto não se pode fazer uma análise da precisão conseguida com os métodos cinemáticos com respeito ao método estático.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES.

- Recomenda-se que novamente sejam processadas os dados obtidos no método estático que foi realizado nos marcos do Centro Politécnico; caso contrário realizar um novo rastreo estático relativo com os receptores que dispõe a UFPR, que com certeza irão fornecer coordenadas de alta precisão, os quais servirão como parâmetros confiáveis, para comparação com resultados obtidos em diferentes trabalhos que possam ser executados posteriormente.

- Os resultados que seriam obtidos com o novo rastreo estático, devem ser novamente comparados com os resultados dos diferentes métodos cinemáticos, para poder saber a real precisão alcançada, acreditando-se que a precisão vai ser melhor tanto em distância como em desnível.

- Dependendo do tipo de trabalho e da precisão desejada, recomenda-se utilizar estes métodos cinemáticos, posto que ao ser mais rápido e ao posicionar mais pontos, seu custo irá diminuir.

- Sendo que o custo dos receptores estão baixando, é possível se obter receptores que possam captar as duas portadoras (L1, L2), deste modo é aconselhável utilizá-los, para poder ter mais informação dos pontos.

- Para trabalhos de maior precisão, também recomenda-se utilizar mais de um marco de referência e um número maior de visitas aos pontos.
- Quando se trabalha com uma portadora, sugere-se fazê-lo quando existir pouca atividade ionosférica, especialmente quando as distâncias entre dois pontos estão próximas de 10 Km.
- Recomenda-se rastrear com 6 satélites e com um PDOP < 3, isto agora é possível já que na atualidade estão disponíveis 24 satélites.

## ANEXO 01

## COORDENADAS EM WGS-84 DO PILAR "PARA" NO CENTRO POLITÉCNICO

$$\phi = 25^{\circ} 26' 54,1362'' \text{ Sul}$$

$$\Lambda = 49^{\circ} 13' 51,4116'' \text{ Oeste}$$

$$h = 925,8679 \text{ m}$$

## COORDENADAS EM SAD-69 DO PILAR "PARA" NO CENTRO POLITÉCNICO

$$\phi = 25^{\circ} 26' 52,3651'' \text{ Sul}$$

$$\Lambda = 49^{\circ} 13' 49,7013'' \text{ Oeste}$$

$$h = 928,8445 \text{ m}$$



**ANEXO 02**

**PLANEJAMENTO**

**ANEXO 2.1****GRÁFICO DE DISPONIBILDADE**



# All-In-View PDOP vs Time

Station : PARA

Date : 19 Sep 1993

Latitude : 25 26' 54"S

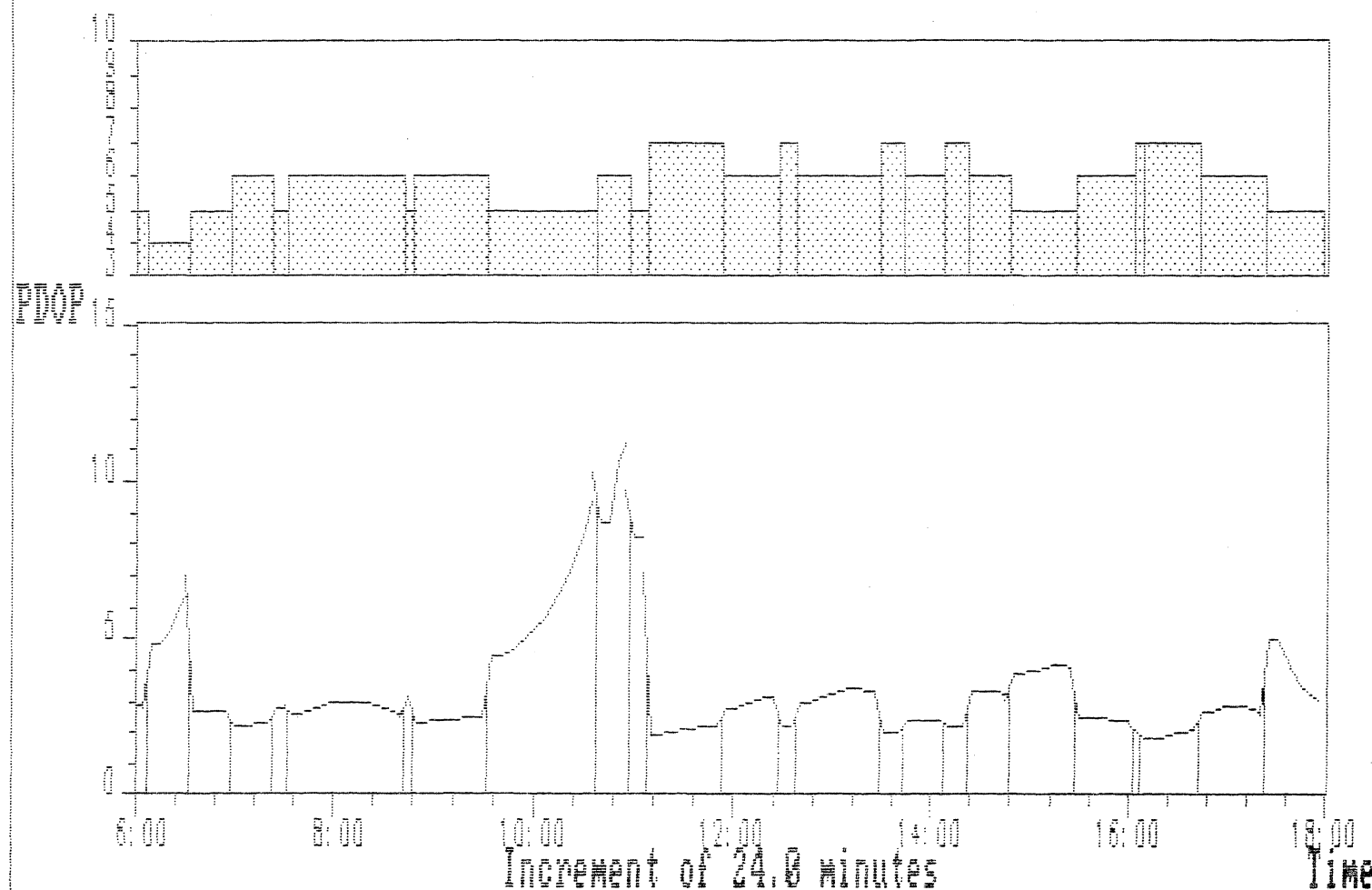
Zone : - 3108

Longitude : 49 13' 51"W

Cut-off Elevation : 15

Number of Satellites

8 Channel Receiver



**ANEXO 2.2 TABELA DE DISPONIBILIDADE E PDOP**

# All-In-View PDOP for PARA

Date : 10 Sep 1993  
Time : 6:00 -> 18:00  
Cut-off Elevation : 15°

Latitude : 25° 26' 54" S  
Longitude : 49° 13' 51" W  
Zone : - 3:00

| Satellite Constellation | Time Rise | Time Set | dT   | PDOP Rise | PDOP Set |
|-------------------------|-----------|----------|------|-----------|----------|
| 14 15 25 29 31          | 6:00      | 6:07     | 0:07 | 2.8       | 2.7      |
| 14 15 25 29             | 6:07      | 6:32     | 0:25 | 4.8       | 7.0      |
| 14 15 18 25 29          | 6:32      | 6:57     | 0:25 | 2.7       | 2.7      |
| 14 15 18 22 25 29       | 6:57      | 7:22     | 0:25 | 2.2       | 2.3      |
| 14 15 18 22 29          | 7:22      | 7:32     | 0:10 | 2.8       | 2.8      |
| 14 15 18 19 22 29       | 7:32      | 8:42     | 1:10 | 2.6       | 2.5      |
| 14 18 19 22 29          | 8:42      | 8:47     | 0:05 | 3.2       | 3.2      |
| 14 18 19 22 27 29       | 8:47      | 9:32     | 0:45 | 2.3       | 2.5      |
| 14 18 19 27 29          | 9:32      | 10:37    | 1:05 | 4.4       | 10.2     |
| 2 14 18 19 27 29        | 10:37     | 10:57    | 0:20 | 8.7       | 9.7      |
| 2 18 19 27 29           | 10:57     | 11:07    | 0:10 | 8.2       | 7.1      |
| 2 16 18 19 27 29 31     | 11:07     | 11:52    | 0:45 | 1.9       | 2.3      |
| 2 16 18 19 27 31        | 11:52     | 12:27    | 0:35 | 2.7       | 3.1      |
| 2 7 16 18 19 27 31      | 12:27     | 12:37    | 0:10 | 2.2       | 2.2      |
| 2 7 16 18 19 27         | 12:37     | 13:27    | 0:50 | 2.9       | 3.2      |
| 2 7 16 18 19 26 27      | 13:27     | 13:42    | 0:15 | 2.0       | 2.0      |
| 2 7 16 19 26 27         | 13:42     | 14:07    | 0:25 | 2.4       | 2.4      |
| 2 7 13 16 19 26 27      | 14:07     | 14:22    | 0:15 | 2.2       | 2.2      |
| 2 7 13 16 26 27         | 14:22     | 14:47    | 0:25 | 3.3       | 3.1      |
| 2 7 13 26 27            | 14:47     | 15:27    | 0:40 | 3.9       | 4.0      |
| 2 7 9 13 26 27          | 15:27     | 16:02    | 0:35 | 2.4       | 2.3      |
| 2 7 9 12 13 26 27       | 16:02     | 16:07    | 0:05 | 2.0       | 2.0      |
| 2 7 9 12 13 24 26       | 16:07     | 16:42    | 0:35 | 1.8       | 2.2      |
| 7 9 12 13 24 26         | 16:42     | 17:22    | 0:40 | 2.7       | 2.6      |
| 9 12 13 24 26           | 17:22     | 17:57    | 0:35 | 5.0       | 2.8      |

**ANEXO 03****LISTAGENS DO PROCESSAMENTO DOS DADOS**

### **ANEXO 3.1 TRANSPORTE DE COORDENADAS**

07/05/93 15:42:04.31

TRIMBLE NAVIGATION, LTD  
585 NORTH MARY AVENUE  
SUNNYVALE, CALIFORNIA 94086  
U.S.A.

PROGRAM TRIMVEC  
GPS RELATIVE POSITIONING SOLUTION  
VERSION 92.030MBP

File name: d:\gps\kin\dados\canguiri.flt  
Coordinate system - WGS-84

Type solution: Double difference  
Value of L12: 4  
L1/L2 ion free solution [Full Wave]

Start date/time: 1993/ 6/24 14: 8:15. day of year 175 tow 396495.  
Stop date/time: 1993/ 6/24 18:26:15. day of year 175 tow 411975.

Date/time of first measurement used: 1993/ 6/24 15:39:45. tow 401985.  
Date/time of last measurement used: 1993/ 6/24 17:48:45. tow 409725.

Data available:

station: 1

|        |       |
|--------|-------|
| sat:14 | ..... |
| sat:25 | ..... |
| sat:15 | ..... |
| sat:29 | ..... |
| sat:18 | ..... |
| sat:22 | ..... |
| sat:19 | ..... |
| sat:27 | ..... |

station: 2

|        |       |
|--------|-------|
| sat:14 | ..... |
| sat:25 | ..... |
| sat:15 | ..... |
| sat:29 | ..... |
| sat:18 | ..... |
| sat:22 | ..... |
| sat:19 | ..... |
| sat:27 | ..... |

Broadcast ephemeris file used: para1750.eph□

| SATELLITE | IODE | HEALTH | WEEK NO. | TOW(sec)  | URA(m) |
|-----------|------|--------|----------|-----------|--------|
| 14        | 104  | 0      | 702      | 396000.00 | 32.0   |
| 25        | 134  | 0      | 702      | 396030.00 | 32.0   |
| 15        | 26   | 0      | 702      | 396000.00 | 2.8    |
| 29        | 101  | 0      | 702      | 396000.00 | 32.0   |
| 18        | 102  | 0      | 702      | 398940.00 | 32.0   |
| 22        | 207  | 0      | 702      | 400710.00 | 32.0   |
| 19        | 117  | 0      | 702      | 402570.00 | 32.0   |
| 27        | 178  | 0      | 702      | 407370.00 | 32.0   |

Broadcast satellite clock correction values

| prn | af0             | af1             | af2             | toc       |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 14  | .1678243279D-05 | .0000000000D+00 | .0000000000D+00 | .4032D+06 |



|    |                  |                  |                 |           |
|----|------------------|------------------|-----------------|-----------|
| 25 | .3138966858D-03  | -.9208633855D-11 | .0000000000D+00 | .4032D+06 |
| 15 | .1590838656D-04  | .1477928890D-11  | .0000000000D+00 | .4032D+06 |
| 29 | .1005828381D-04  | .4547473509D-12  | .0000000000D+00 | .3991D+06 |
| 18 | -.1210719347D-06 | -.3410605132D-12 | .0000000000D+00 | .4032D+06 |
| 22 | .2857530490D-04  | .3296918294D-11  | .0000000000D+00 | .4032D+06 |
| 19 | .9773811325D-04  | .2387423592D-11  | .0000000000D+00 | .4032D+06 |
| 27 | .2983817831D-04  | .1136868377D-11  | .0000000000D+00 | .4104D+06 |

No message file for station 1

Origin of station 1 coordinates : User input

STATION (mark) 1

input data file 1 : para1750.dat□

antenna height(m) 0.229

met values used: pressure(mb) 1013.0  
temperature(deg C) 20.0  
relative humidity(%) 50.0

|       |              |              |     |    |          |
|-------|--------------|--------------|-----|----|----------|
| x (m) | 3763752.176  | lat (dms) S  | 25  | 26 | 54.13620 |
| y (m) | -4365113.311 | elon (dms) E | 310 | 46 | 8.58840  |
| z (m) | -2724404.998 | wlon (dms) W | 49  | 13 | 51.41160 |
|       | ht (m)       |              |     |    | 925.8679 |

No message file for station 2

STATION (mark) 2

input data file 1 : cang1750.dat□

antenna height(m) 0.229

met values used: pressure(mb) 1013.0  
temperature(deg C) 20.0  
relative humidity(%) 50.0

|       |              |              |     |    |          |
|-------|--------------|--------------|-----|----|----------|
| x (m) | 3773754.734  | lat (dms) S  | 25  | 23 | 20.91528 |
| y (m) | -4360172.796 | elon (dms) E | 310 | 52 | 34.95859 |
| z (m) | -2718470.243 | wlon (dms) W | 49  | 7  | 25.04141 |
|       | ht (m)       |              |     |    | 907.6274 |

Vector 1 originates at station 1 ends at station 2

Vector Standard Deviations (m) :

|    |    |    |
|----|----|----|
| dx | dy | dz |
|----|----|----|

Vector 1 .1588476D-02 .1373897D-02 .6176829D-03

Vector correlation matrix :

|        |        |        |
|--------|--------|--------|
| dx(01) | dy(01) | dz(01) |
|--------|--------|--------|

|        |                              |
|--------|------------------------------|
| dx(01) | 1.0000000                    |
| dy(01) | -.4285199 1.0000000          |
| dz(01) | -.4446867 .5298624 1.0000000 |

STATION 1 TO STATION 2

slope distance (m) 12636.5016 sigma (m) 0.0011

|                              | Forward      | Backward         |
|------------------------------|--------------|------------------|
| normal section azimuth (dms) | 58 44 14.90  | 238 41 29.05     |
| vertical angle (dms)         | 0 -8 22.21   | 0 1 33.26        |
| east(m) north(m) up(m)       | 10801.630    | 6557.822 -30.767 |
| Delta lat(dms)               | 0 3 33.22092 |                  |
| Delta lon(dms)               | 0 6 26.37019 |                  |
| Delta ht(m)                  | -18.2405     |                  |

correlations for baseline 1:

|        | dx        | dy        | dz        | trop      | bias 1    | bias 2    |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|        | bias 3    | bias 4    | bias 5    | bias 6    | bias 7    |           |
| dx     | 1.0000000 |           |           |           |           |           |
| dy     | -.4285199 | 1.0000000 |           |           |           |           |
| dz     | -.4446867 | .5298624  | 1.0000000 |           |           |           |
| trop   | .0000000  | .0000000  | .0000000  | 1.0000000 |           |           |
| bias 1 | .2037796  | -.4316936 | -.2010480 | .0000000  | 1.0000000 |           |
| bias 2 | .1222903  | -.0216146 | -.6669592 | .0000000  | .0120942  | 1.0000000 |
| bias 3 | .8596354  | -.4079695 | -.1500276 | .0000000  | .2198398  | -.0464154 |
|        | 1.0000000 |           |           |           |           |           |
| bias 4 | .9240960  | -.1179506 | -.2278597 | .0000000  | .0806392  | .0953190  |
|        | .8415925  | 1.0000000 |           |           |           |           |
| bias 5 | .2636995  | -.8765272 | -.4667152 | .0000000  | .3860701  | .0833784  |
|        | .2928659  | .0002325  | 1.0000000 |           |           |           |
| bias 6 | .7420967  | .2144185  | -.2608389 | .0000000  | -.0758904 | .2837806  |
|        | .5926812  | .8713301  | -.2732779 | 1.0000000 |           |           |
| bias 7 | .8011320  | -.0500243 | -.3947436 | .0000000  | .0347298  | .2779536  |
|        | .6378546  | .8372387  | -.0416214 | .8393209  | 1.0000000 |           |

|                | Solution  | Sigma |
|----------------|-----------|-------|
| dx (m)         | 10002.558 | .002  |
| dy (m)         | 4940.515  | .001  |
| dz (m)         | 5934.756  | .001  |
| trop (%)       | .000      | .000  |
| bias 1 (cycle) | -.021     | .017  |
| bias 2 (cycle) | -.035     | .003  |
| bias 3 (cycle) | .034      | .003  |
| bias 4 (cycle) | .175      | .007  |
| bias 5 (cycle) | -.058     | .006  |
| bias 6 (cycle) | .222      | .006  |
| bias 7 (cycle) | .211      | .010  |

Rdop(norm to 60 sec) is 0.153 (m/cycle)

All Baseline Vectors:

|             | dx(m)     | dy(m)    | dz(m)    | dist(m)   | dh(m)   |
|-------------|-----------|----------|----------|-----------|---------|
| From 1 To 2 | 10002.558 | 4940.515 | 5934.756 | 12636.502 | -18.241 |

Interval between epochs (sec) 15.0  
 Epoch increment 1  
 Number of measurements used in solution 2322  
 Number of measurements rejected 171  
 RMS (cycles) 0.020

Elevation mask (deg) 15.0  
 Edit multiplier 3.5  
 Modified Hopfield troposphere model used

Best tracking C/A code positions  
 Station 1  
 Pdop 2.3

x (m) 3763810.935 lat (dms) S 25 26 54.86156  
 y (m) -4365133.582 elon (dms) E 310 46 9.70723  
 z (m) -2724455.286 wlon (dms) W 49 13 50.29277  
 ht (m) 995.9868  
 clock offset(s) .17949886D-03  
 freq offset(s/s) .58228904D-06

|       | Code calibration(m) | Carrier calibration(m) |
|-------|---------------------|------------------------|
| 0 - 1 | -0.3750             | 0.0007                 |
| 0 - 2 | 0.0962              | 0.0002                 |
| 0 - 3 | 0.2334              | 0.0000                 |
| 0 - 4 | -0.0527             | 0.0007                 |
| 0 - 5 | 0.4253              | 0.0001                 |
| 0 - 6 | 0.3862              | 0.0002                 |
| 0 - 7 | -0.1167             | 0.0009                 |
| 0 - 8 | 0.4185              | 0.0002                 |
| 0 - 9 | 0.5718              | 0.0003                 |

Station 2

Pdp 2.4  
 x (m) 3773710.782 lat (dms) S 25 23 21.21576  
 y (m) -4360178.319 elon (dms) E 310 52 33.64058  
 z (m) -2718468.810 wlon (dms) W 49 7 26.35943  
 ht (m) 884.8005  
 clock offset(s) .31374759D-03  
 freq offset(s/s) .90088895D-06

|       | Code calibration(m) | Carrier calibration(m) |
|-------|---------------------|------------------------|
| 0 - 1 | -0.1372             | 0.0008                 |
| 0 - 2 | -0.0547             | 0.0002                 |
| 0 - 3 | 0.1099              | 0.0000                 |
| 0 - 4 | 0.0596              | 0.0009                 |
| 0 - 5 | 0.2700              | 0.0003                 |
| 0 - 6 | 0.4092              | 0.0002                 |
| 0 - 7 | 0.3408              | 0.0011                 |
| 0 - 8 | 0.5762              | 0.0005                 |
| 0 - 9 | 0.6016              | -0.0024                |

### **ANEXO 3.2**

**Resultados para o marco ECC2, do método cinemático interrompido  
com linha base conhecida (C.Politécnico) realizado no 11/06/93**

06/11/93 17:50:44.75

TRIMBLE NAVIGATION, LTD  
585 NORTH MARY AVENUE  
SUNNYVALE, CALIFORNIA 94086  
U.S.A.

PROGRAM TRIMVEC  
GPS RELATIVE POSITIONING SOLUTION  
VERSION 92.030MBP

File name: D:\GPS\KIN\RESUL\MARKECC2.k01  
Coordinate system - WGS-84

Type solution: Double difference  
Value of L12: 1  
L1 solution

Start date/time: 1993/ 6/11 12:34: 0. day of year 162 tow 477240.  
Stop date/time: 1993/ 6/11 13:10:20. day of year 162 tow 479420.

Date/time of first measurement used: 1993/ 6/11 12:46: 5. tow 477965.  
Date/time of last measurement used: 1993/ 6/11 12:49: 5. tow 478145.

Data available:

station: 1

|        |  |       |  |
|--------|--|-------|--|
| sat:21 |  | ..... |  |
| sat: 1 |  | ..... |  |
| sat:15 |  | ..... |  |
| sat:28 |  | ..... |  |
| sat:31 |  | ..... |  |
| sat:25 |  | ..... |  |

station: 2

|        |  |       |  |
|--------|--|-------|--|
| sat:21 |  | ..... |  |
| sat: 1 |  | ..... |  |
| sat:15 |  | ..... |  |
| sat:28 |  | ..... |  |
| sat:31 |  | ..... |  |
| sat:25 |  | ..... |  |

Broadcast ephemeris file used: D:\GPS\KIN\DADOS\FIX01621.eph

| SATELLITE | IODE | HEALTH | WEEK NO. | TOW(sec)  | URA(m) |
|-----------|------|--------|----------|-----------|--------|
| 21        | 58   | 0      | 700      | 477000.00 | 32.0   |
| 1         | 71   | 0      | 700      | 477030.00 | 32.0   |
| 15        | 52   | 0      | 700      | 477090.00 | 2.8    |
| 28        | 168  | 0      | 700      | 477000.00 | 32.0   |
| 31        | 201  | 0      | 700      | 477000.00 | 2.8    |
| 25        | 112  | 0      | 700      | 477240.00 | 32.0   |

Broadcast satellite clock correction values

| prn | af0              | af1              | af2             | toc       |
|-----|------------------|------------------|-----------------|-----------|
| 21  | -.1904042438D-04 | -.1136868377D-12 | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 1   | -.3723613918D-04 | -.2387423592D-11 | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 15  | .1408625394D-04  | .1591615728D-11  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 28  | .1332862303D-04  | .2273736754D-11  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 31  | .1629116014D-04  | .2728484105D-11  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 25  | .3229547292D-03  | -.6252776075D-11 | .0000000000D+00 | .4824D+06 |

No message file for station 1

Origin of station 1 coordinates : User input

STATION (mark) 1 MARKBASE

input data file 1 : D:\GPS\KIN\DADOS\FIX01621.DAT

antenna height(m) 0.229

met values used: pressure(mb) 1013.0  
temperature(deg C) 20.0  
relative humidity(%) 50.0

|       |              |            |   |     |    |          |
|-------|--------------|------------|---|-----|----|----------|
| x (m) | 3763752.176  | lat (dms)  | S | 25  | 26 | 54.13620 |
| y (m) | -4365113.311 | elon (dms) | E | 310 | 46 | 8.58840  |
| z (m) | -2724404.998 | wlon (dms) | W | 49  | 13 | 51.41160 |
|       | ht (m)       |            |   |     |    | 925.8679 |

No message file for station 2

STATION (mark) 2 MARKECC2

input data file 1 : D:\GPS\KIN\DADOS\ROVE1621.DAT

antenna height(m) 1.652

met values used: pressure(mb) 1013.0  
temperature(deg C) 20.0  
relative humidity(%) 50.0

|       |              |            |   |     |    |          |
|-------|--------------|------------|---|-----|----|----------|
| x (m) | 3763764.516  | lat (dms)  | S | 25  | 26 | 24.55179 |
| y (m) | -4365093.860 | elon (dms) | E | 310 | 46 | 9.37740  |
| z (m) | -2724415.988 | wlon (dms) | W | 49  | 13 | 50.62260 |
|       | ht (m)       |            |   |     |    | 924.5648 |

Vector 1 originates at station 1 ends at station 2

Vector Standard Deviations (m) :

|    |    |    |
|----|----|----|
| dx | dy | dz |
|----|----|----|

Vector 1 .7011522D-02 .7223930D-02 .5883173D-02

Vector correlation matrix :

|        |        |        |
|--------|--------|--------|
| dx(01) | dy(01) | dz(01) |
|--------|--------|--------|

|        |           |           |           |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| dx(01) | 1.0000000 |           |           |
| dy(01) | -.5598494 | 1.0000000 |           |
| dz(01) | -.6186927 | .4458245  | 1.0000000 |

STATION 1 TO STATION 2

slope distance (m) 25.5220 sigma (m) 0.0051

|                              | Forward     | Backward    |
|------------------------------|-------------|-------------|
| normal section azimuth (dms) | 120 7 12.33 | 300 7 12.00 |
| vertical angle (dms)         | -2 55 36.81 | 2 55 35.98  |

|         |          |       |        |         |        |
|---------|----------|-------|--------|---------|--------|
| east(m) | north(m) | up(m) | 22.047 | -12.791 | -1.303 |
|---------|----------|-------|--------|---------|--------|

Delta lat(dms) 0 0 -0.41559  
Delta lon(dms) 0 0 0.78900  
Delta ht(m) -1.3031

correlations for baseline 1:

|        | dx<br>bias 3 | dy<br>bias 4 | dz<br>bias 5 | trop      | bias 1    | bias 2    |
|--------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| dx     | 1.0000000    |              |              |           |           |           |
| dy     | -.5598494    | 1.0000000    |              |           |           |           |
| dz     | -.6186927    | .4458245     | 1.0000000    |           |           |           |
| trop   | .0000000     | .0000000     | .0000000     | 1.0000000 |           |           |
| bias 1 | .0000000     | .0000000     | .0000000     | .0000000  | 1.0000000 |           |
| bias 2 | .0000000     | .0000000     | .0000000     | .0000000  | .0000000  | 1.0000000 |
| bias 3 | .0000000     | .0000000     | .0000000     | .0000000  | .0000000  | .0000000  |
|        | 1.0000000    |              |              |           |           |           |
| bias 4 | .0000000     | .0000000     | .0000000     | .0000000  | .0000000  | .0000000  |
|        | .0000000     | 1.0000000    |              |           |           |           |
| bias 5 | .0000000     | .0000000     | .0000000     | .0000000  | .0000000  | .0000000  |
|        | .0000000     | .0000000     | 1.0000000    |           |           |           |

|                | Solution     | Sigma |
|----------------|--------------|-------|
| dx (m)         | 12.340       | .007  |
| dy (m)         | 19.451       | .007  |
| dz (m)         | -10.990      | .006  |
| trop (%)       | .000         | .000  |
| bias 1 (cycle) | -319233.000  | .000  |
| bias 2 (cycle) | -853573.000  | .000  |
| bias 3 (cycle) | -80759.000   | .000  |
| bias 4 (cycle) | -578435.000  | .000  |
| bias 5 (cycle) | -1263987.000 | .000  |

#### Kinematic or Pseudostatic data intervals

Original Position Start/Stop Times  
477965.000 478145.000

Rdop(norm to 60 sec) is 0.160 (m/cycle)

#### All Baseline Vectors:

|             | dx(m)  | dy(m)  | dz(m)   | dist(m) | dh(m)  |
|-------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| From 1 To 2 | 12.340 | 19.451 | -10.990 | 25.522  | -1.303 |

Interval between epochs (sec) 5.0  
Epoch increment 1  
Number of measurements used in solution 185  
Number of measurements rejected 0  
RMS (cycles) 0.013

Elevation mask (deg) 15.0  
Edit multiplier 3.5  
Modified Hopfield troposphere model used

#### Best tracking C/A code positions

##### Station 1

Pdop 2.0  
x (m) 3763769.666 lat (dms) S 25 26 54.40471  
y (m) -4365093.983 elon (dms) E 310 46 9.51411  
z (m) -2724412.619 wlon (dms) W 49 13 50.48589  
ht (m) 926.2378  
clock offset(s) .36520576D-03  
freq offset(s/s) .85433939D-06

|       | Code calibration(m) | Carrier calibration(m) |
|-------|---------------------|------------------------|
| 0 - 1 | -0.2285             | 0.0007                 |
| 0 - 2 | -0.0044             | 0.0002                 |
| 0 - 3 | 0.1050              | 0.0002                 |
| 0 - 4 | -0.4229             | 0.0009                 |
| 0 - 5 | -2.6685             | 0.0004                 |
| 0 - 6 | -5.4717             | 0.0006                 |
| 0 - 7 | -5.9199             | 0.0013                 |

0 - 8        -5.7529                0.0008  
0 - 9        -5.6777                0.0007

Station 2

Pdop        2.0

x (m)       3763741.155        lat (dms) S    25    26    54.68986

y (m)       -4365104.896        elon (dms) E   310   46    8.48636

z (m)       -2724417.411        wlon (dms) W   49    13   51.51364

             ht (m)            918.9487

clock offset(s)        .11800825D-03

freq offset(s/s)       .10132897D-05

Code calibration(m)    Carrier calibration(m)

0 - 1        -0.1328                0.0008

0 - 2        0.0044                0.0003

0 - 3        0.2056                0.0001

0 - 4        -0.0435                0.0009

0 - 5        0.0342                0.0004

0 - 6        0.3042                0.0003

0 - 7        0.1211                0.0013

0 - 8        0.2334                0.0005

0 - 9        0.5327                -0.0033



### ANEXO 3.3

Resultados do método cinemático contínuo com intercâmbio de antenas (C.Politécnico) realizado no 12/05/93

D:\GPS\KIN\DATOS\FIXO1322.DAT□  
D:\GPS\KIN\DATOS\ROVE1322.DAT□

| time          | dx     | dy     | dz     | meas | rdop | epoch | rms  |
|---------------|--------|--------|--------|------|------|-------|------|
| 312531.999625 | -.115  | 5.093  | -4.771 | 5    | .211 | 889   | .016 |
| 312532.999624 | -.116  | 5.094  | -4.770 | 5    | .211 | 890   | .022 |
| 312533.999624 | -.116  | 5.093  | -4.772 | 5    | .211 | 891   | .017 |
| 312534.999623 | -.116  | 5.094  | -4.772 | 5    | .211 | 892   | .018 |
| 312535.999623 | -.116  | 5.095  | -4.772 | 5    | .211 | 893   | .017 |
| 312536.999622 | -.118  | 5.097  | -4.771 | 5    | .211 | 894   | .015 |
| 312537.999621 | -.118  | 5.097  | -4.771 | 5    | .211 | 895   | .015 |
| 312538.999621 | -.117  | 5.095  | -4.773 | 5    | .211 | 896   | .017 |
| 312539.999620 | -.121  | 5.098  | -4.768 | 5    | .211 | 897   | .023 |
| 312540.999620 | -.115  | 5.093  | -4.772 | 5    | .211 | 898   | .014 |
| 312541.999619 | -.116  | 5.094  | -4.773 | 5    | .211 | 899   | .011 |
| 312542.999618 | -.114  | 5.093  | -4.774 | 5    | .211 | 900   | .013 |
| 312543.999618 | -.116  | 5.094  | -4.772 | 5    | .211 | 901   | .016 |
| 312544.999617 | -.114  | 5.093  | -4.772 | 5    | .211 | 902   | .015 |
| 312545.999617 | -.116  | 5.094  | -4.771 | 5    | .211 | 903   | .013 |
| 312546.999616 | -.115  | 5.092  | -4.772 | 5    | .211 | 904   | .014 |
| 312547.999616 | -.114  | 5.091  | -4.773 | 5    | .211 | 905   | .013 |
| 312548.999615 | -.115  | 5.093  | -4.771 | 5    | .211 | 906   | .009 |
| 312549.999614 | -.114  | 5.092  | -4.771 | 5    | .211 | 907   | .009 |
| 312550.999614 | -.118  | 5.095  | -4.769 | 5    | .211 | 908   | .014 |
| 312551.999613 | -.120  | 5.096  | -4.771 | 5    | .211 | 909   | .012 |
| 312552.999613 | -.119  | 5.093  | -4.772 | 5    | .211 | 910   | .015 |
| 312553.999612 | -.117  | 5.093  | -4.773 | 5    | .211 | 911   | .015 |
| 312554.999611 | -.116  | 5.095  | -4.769 | 5    | .211 | 912   | .013 |
| 312555.999611 | -.111  | 5.088  | -4.774 | 5    | .211 | 913   | .010 |
| 312556.999610 | .013   | 4.948  | -4.682 | 5    | .211 | 914   | .008 |
| 312557.999610 | .399   | 4.792  | -4.278 | 5    | .211 | 915   | .021 |
| 312558.999609 | -.064  | 3.889  | -3.960 | 5    | .211 | 916   | .014 |
| 312559.999608 | -.806  | 2.603  | -2.803 | 5    | .211 | 917   | .019 |
| 312560.999608 | -1.708 | 1.390  | -1.692 | 5    | .211 | 918   | .009 |
| 312561.999607 | -2.304 | -.041  | .046   | 5    | .211 | 919   | .007 |
| 312562.999607 | -2.260 | -1.227 | 2.098  | 5    | .211 | 920   | .004 |
| 312563.999606 | -2.025 | -2.141 | 4.048  | 5    | .211 | 921   | .007 |
| 312564.999606 | -1.832 | -2.815 | 5.345  | 5    | .211 | 922   | .008 |
| 312565.999605 | -1.881 | -3.085 | 5.83   | 5    | .211 | 923   | .011 |
| 312566.999604 | -1.532 | -3.089 | 5.815  | 5    | .211 | 924   | .018 |
| 312567.999604 | -1.449 | -3.186 | 5.875  | 5    | .211 | 925   | .016 |
| 312568.999603 | -1.425 | -3.197 | 5.913  | 5    | .211 | 926   | .020 |
| 312569.999603 | -1.454 | -3.214 | 5.901  | 5    | .211 | 927   | .008 |
| 312570.999602 | -1.488 | -3.225 | 5.93   | 5    | .211 | 928   | .002 |
| 312571.999601 | -1.501 | -3.217 | 5.954  | 5    | .211 | 929   | .004 |
| 312572.999601 | -1.506 | -3.206 | 5.959  | 5    | .211 | 930   | .007 |
| 312573.999600 | -1.515 | -3.199 | 5.965  | 5    | .211 | 931   | .007 |
| 312574.999600 | -1.513 | -3.197 | 5.964  | 5    | .211 | 932   | .003 |
| 312575.999599 | -1.515 | -3.198 | 5.966  | 5    | .211 | 933   | .003 |
| 312576.999598 | -1.515 | -3.198 | 5.966  | 5    | .211 | 934   | .008 |
| 312577.999598 | -1.515 | -3.199 | 5.966  | 5    | .211 | 935   | .004 |
| 312578.999597 | -1.515 | -3.199 | 5.968  | 5    | .211 | 936   | .006 |
| 312579.999597 | -1.517 | -3.197 | 5.968  | 5    | .211 | 937   | .004 |
| 312580.999596 | -1.518 | -3.198 | 5.967  | 5    | .211 | 938   | .008 |
| 312581.999596 | -1.516 | -3.199 | 5.968  | 5    | .211 | 939   | .006 |
| 312582.999595 | -1.517 | -3.198 | 5.966  | 5    | .211 | 940   | .007 |
| 312583.999594 | -1.519 | -3.197 | 5.966  | 5    | .211 | 941   | .007 |
| 312584.999594 | -1.518 | -3.198 | 5.967  | 5    | .211 | 942   | .005 |
| 312585.999593 | -1.517 | -3.197 | 5.969  | 5    | .211 | 943   | .006 |
| 312586.999593 | -1.516 | -3.198 | 5.967  | 5    | .211 | 944   | .005 |
| 312587.999592 | -1.517 | -3.197 | 5.968  | 5    | .211 | 945   | .005 |
| 312588.999591 | -1.516 | -3.197 | 5.968  | 5    | .211 | 946   | .005 |
| 312589.999591 | -1.514 | -3.197 | 5.966  | 5    | .211 | 947   | .002 |
| 312829.999450 | -1.515 | -3.190 | 5.974  | 5    | .213 | 1187  | .005 |

|               |        |        |       |   |           |      |
|---------------|--------|--------|-------|---|-----------|------|
| 312830.999450 | -1.516 | -3.190 | 5.973 | 5 | .213 1188 | .006 |
| 312831.999449 | -1.515 | -3.190 | 5.973 | 5 | .213 1189 | .005 |
| 312832.999448 | -1.516 | -3.191 | 5.973 | 5 | .213 1190 | .003 |
| 312833.999448 | -1.514 | -3.191 | 5.972 | 5 | .213 1191 | .004 |
| 312834.999447 | -1.513 | -3.192 | 5.971 | 5 | .213 1192 | .006 |
| 312835.999447 | -1.514 | -3.191 | 5.971 | 5 | .213 1193 | .008 |
| 312836.999446 | -1.513 | -3.191 | 5.971 | 5 | .213 1194 | .011 |
| 312837.999446 | -1.513 | -3.192 | 5.972 | 5 | .213 1195 | .009 |
| 312838.999445 | -1.514 | -3.191 | 5.973 | 5 | .213 1196 | .009 |
| 312839.999444 | -1.513 | -3.191 | 5.971 | 5 | .213 1197 | .007 |
| 312840.999444 | -1.515 | -3.191 | 5.972 | 5 | .213 1198 | .007 |
| 312841.999443 | -1.515 | -3.190 | 5.972 | 5 | .213 1199 | .007 |
| 312842.999443 | -1.514 | -3.191 | 5.972 | 5 | .213 1200 | .009 |
| 312843.999442 | -1.514 | -3.192 | 5.972 | 5 | .213 1201 | .007 |
| 312844.999441 | -1.516 | -3.190 | 5.971 | 5 | .213 1202 | .009 |
| 312845.999441 | -1.515 | -3.191 | 5.971 | 5 | .213 1203 | .004 |
| 312846.999440 | -1.520 | -3.190 | 5.972 | 5 | .213 1204 | .012 |
| 312847.999440 | -1.518 | -3.189 | 5.970 | 5 | .213 1205 | .004 |
| 312848.999439 | -1.517 | -3.190 | 5.971 | 5 | .213 1206 | .004 |
| 312849.999439 | -1.517 | -3.189 | 5.970 | 5 | .213 1207 | .005 |
| 312850.999438 | -1.518 | -3.189 | 5.973 | 5 | .213 1208 | .004 |
| 312851.999437 | -1.517 | -3.188 | 5.974 | 5 | .213 1209 | .002 |
| 312852.999437 | -1.516 | -3.190 | 5.973 | 5 | .213 1210 | .005 |
| 312853.999436 | -1.516 | -3.192 | 5.970 | 5 | .213 1211 | .001 |
| 312854.999436 | -1.516 | -3.192 | 5.968 | 5 | .213 1212 | .006 |
| 312855.999435 | -1.517 | -3.193 | 5.969 | 5 | .213 1213 | .004 |
| 312856.999434 | -1.516 | -3.192 | 5.969 | 5 | .213 1214 | .003 |
| 312857.999434 | -1.517 | -3.193 | 5.971 | 5 | .213 1215 | .002 |
| 312858.999433 | -1.517 | -3.190 | 5.972 | 5 | .213 1216 | .004 |
| 312859.999433 | -1.499 | -3.191 | 5.981 | 5 | .213 1217 | .003 |
| 312860.999432 | -1.357 | -3.111 | 5.956 | 5 | .213 1218 | .008 |
| 312861.999432 | -1.242 | -2.951 | 5.968 | 5 | .213 1219 | .004 |
| 312862.999431 | -1.218 | -2.918 | 5.972 | 5 | .213 1220 | .007 |
| 312863.999430 | -1.232 | -2.915 | 5.956 | 5 | .213 1221 | .009 |
| 312864.999430 | -1.249 | -2.911 | 5.929 | 5 | .213 1222 | .009 |
| 312865.999429 | -1.268 | -2.910 | 5.918 | 5 | .213 1223 | .006 |
| 312866.999429 | -1.252 | -2.904 | 5.935 | 5 | .213 1224 | .006 |
| 312867.999428 | -1.250 | -2.904 | 5.946 | 5 | .213 1225 | .003 |
| 312868.999427 | -1.256 | -2.909 | 5.940 | 5 | .213 1226 | .002 |
| 312869.999427 | -1.246 | -2.902 | 5.957 | 5 | .213 1227 | .002 |
| 312870.999426 | -1.241 | -2.894 | 5.952 | 5 | .213 1228 | .002 |
| 312871.999426 | -1.246 | -2.901 | 5.964 | 5 | .213 1229 | .004 |
| 312872.999425 | -1.242 | -2.893 | 5.958 | 5 | .213 1230 | .003 |
| 312873.999424 | -1.241 | -2.897 | 5.965 | 5 | .213 1231 | .004 |
| 312874.999424 | -1.248 | -2.906 | 5.963 | 5 | .213 1232 | .003 |
| 312875.999423 | -1.258 | -2.913 | 5.954 | 5 | .213 1233 | .005 |
| 312876.999423 | -1.258 | -2.914 | 5.961 | 5 | .213 1234 | .006 |
| 312877.999422 | -1.258 | -2.918 | 5.970 | 5 | .213 1235 | .006 |
| 312878.999422 | -1.256 | -2.920 | 5.976 | 5 | .213 1236 | .007 |
| 312879.999421 | -1.250 | -2.912 | 5.965 | 5 | .213 1237 | .013 |
| 312880.999420 | -1.252 | -2.906 | 5.949 | 5 | .213 1238 | .007 |
| 312881.999420 | -1.211 | -2.870 | 5.925 | 5 | .213 1239 | .009 |
| 312882.999419 | -1.235 | -2.857 | 5.884 | 5 | .213 1240 | .009 |
| 312883.999419 | -1.298 | -2.909 | 5.877 | 5 | .213 1241 | .002 |
| 312884.999418 | -1.315 | -2.899 | 5.852 | 5 | .213 1242 | .005 |
| 312885.999417 | -1.339 | -2.932 | 5.865 | 5 | .213 1243 | .003 |
| 312886.999417 | -1.342 | -2.925 | 5.849 | 5 | .213 1244 | .001 |
| 312887.999416 | -1.355 | -2.944 | 5.859 | 5 | .213 1245 | .003 |
| 312888.999416 | -1.361 | -2.985 | 5.912 | 5 | .213 1246 | .004 |
| 312889.999415 | -1.381 | -2.972 | 5.872 | 5 | .213 1247 | .010 |
| 312890.999415 | -1.353 | -2.961 | 5.892 | 5 | .213 1248 | .010 |
| 312891.999414 | -1.356 | -2.882 | 5.775 | 5 | .213 1249 | .005 |
| 312892.999413 | -1.338 | -2.860 | 5.709 | 5 | .213 1250 | .008 |
| 312893.999413 | -1.190 | -2.871 | 5.633 | 5 | .213 1251 | .005 |
| 312894.999412 | -1.324 | -2.770 | 5.322 | 5 | .214 1252 | .010 |

#### ANEXO 3.4

Resultados para o marco ECC3, do método Pseudo-cinemático  
(C.Politécnico) realizado no 11/06/93.

06/14/93 10:57:36.44

TRIMBLE NAVIGATION, LTD  
585 NORTH MARY AVENUE  
SUNNYVALE, CALIFORNIA 94086  
U.S.A.

PROGRAM TRIMVEC  
GPS RELATIVE POSITIONING SOLUTION  
VERSION 92.030MBP

File name: D:\GPS\KIN\RESUL\BASEECC3.k01  
Coordinate system - WGS-84

Type solution: Double difference  
Value of L12: 1  
L1 solution

Start date/time: 1993/ 6/11 13:34:60. day of year 162 tow 480900.  
Stop date/time: 1993/ 6/11 15:20:10. day of year 162 tow 487210.

Date/time of first measurement used: 1993/ 6/11 13:37: 5. tow 481025.  
Date/time of last measurement used: 1993/ 6/11 14:40: 5. tow 484805.

Data available:

station: 1

|        |  |
|--------|--|
| sat:15 |  |
| sat: 1 |  |
| sat:21 |  |
| sat:31 |  |
| sat:28 |  |
| sat:25 |  |
| sat:14 |  |
| sat:29 |  |

station: 2

|        |  |
|--------|--|
| sat:15 |  |
| sat: 1 |  |
| sat:21 |  |
| sat:31 |  |
| sat:28 |  |
| sat:25 |  |
| sat:14 |  |
| sat:29 |  |

Broadcast ephemeris file used: D:\GPS\KIN\DADOS\FIX01627.eph

| SATELLITE | IODE | HEALTH | WEEK NO. | TOW(sec)  | URA(m) |
|-----------|------|--------|----------|-----------|--------|
| 15        | 52   | 0      | 700      | 480600.00 | 2.8    |
| 1         | 71   | 0      | 700      | 480600.00 | 32.0   |
| 21        | 58   | 0      | 700      | 480600.00 | 32.0   |
| 31        | 201  | 0      | 700      | 480630.00 | 2.8    |
| 28        | 168  | 0      | 700      | 480600.00 | 32.0   |
| 25        | 112  | 0      | 700      | 480600.00 | 32.0   |
| 14        | 94   | 0      | 700      | 481140.00 | 32.0   |
| 29        | 98   | 0      | 700      | 481410.00 | 32.0   |

Broadcast satellite clock correction values

| prn | af0              | af1              | af2             | toc       |
|-----|------------------|------------------|-----------------|-----------|
| 15  | .1408625394D-04  | .1591615728D-11  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 1   | -.3723613918D-04 | -.2387423592D-11 | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 21  | -.1904042438D-04 | -.1136868377D-12 | .0000000000D+00 | .4824D+06 |

|    |                 |                  |                 |           |
|----|-----------------|------------------|-----------------|-----------|
| 31 | .1629116014D-04 | .2728484105D-11  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 28 | .1332862303D-04 | .2273736754D-11  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 25 | .3229547292D-03 | -.6252776075D-11 | .0000000000D+00 | .4824D+06 |
| 14 | .1532491297D-05 | .1136868377D-12  | .0000000000D+00 | .4783D+06 |
| 29 | .9423587471D-05 | .7958078641D-12  | .0000000000D+00 | .4824D+06 |

No message file for station 1

Origin of station 1 coordinates : User input

STATION (mark) 1 MARKBASE

input data file 1 : D:\GPS\KIN\DADOS\FIXO1627.DAT

antenna height(m) 0.229

met values used: pressure(mb) 1013.0  
temperature(deg C) 20.0  
relative humidity(%) 50.0

|       |              |            |   |     |    |          |
|-------|--------------|------------|---|-----|----|----------|
| x (m) | 3763752.176  | lat (dms)  | S | 25  | 26 | 54.13620 |
| y (m) | -4365113.311 | elon (dms) | E | 310 | 46 | 8.58840  |
| z (m) | -2724404.998 | wlon (dms) | W | 49  | 13 | 51.41160 |
|       | ht (m)       |            |   |     |    | 925.8679 |

No message file for station 2

STATION (mark) 2 MARKECC3

input data file 1 : D:\GPS\KIN\DADOS\ROVE1627.DAT

antenna height(m) 1.652

met values used: pressure(mb) 1013.0  
temperature(deg C) 20.0  
relative humidity(%) 50.0

|       |              |            |   |     |    |           |
|-------|--------------|------------|---|-----|----|-----------|
| x (m) | 3763730.733  | lat (dms)  | S | 25  | 26 | 54.57531  |
| y (m) | -4365121.749 | elon (dms) | E | 310 | 46 | 7.81004   |
| z (m) | -2724416.342 | wlon (dms) | W | 49  | 13 | 52.18996  |
|       | ht (m)       |            |   |     |    | 923.86910 |

Vector 1 originates at station 1 ends at station 2

Vector Standard Deviations (m) :

|    |    |    |
|----|----|----|
| dx | dy | dz |
|----|----|----|

Vector 1 .4713231D-02 .4557393D-02 .1498574D-02

Vector correlation matrix :

|        |        |        |
|--------|--------|--------|
| dx(01) | dy(01) | dz(01) |
|--------|--------|--------|

|        |           |           |
|--------|-----------|-----------|
| dx(01) | 1.0000000 |           |
| dy(01) | .7881096  | 1.0000000 |
| dz(01) | -.2769638 | -.2473643 |

STATION 1 TO STATION 2

|                    |         |           |        |
|--------------------|---------|-----------|--------|
| slope distance (m) | 25.6844 | sigma (m) | 0.0051 |
|--------------------|---------|-----------|--------|

|                              |             |            |
|------------------------------|-------------|------------|
|                              | Forward     | Backward   |
| normal section azimuth (dms) | 238 8 42.28 | 58 8 42.62 |
| vertical angle (dms)         | -4 27 48.61 | 4 27 47.78 |

east(m) north(m) up(m) -21.750 -13.514 -1.999

Delta lat(dms) 0 0 -0.43911

Delta lon(dms) 0 0 -0.77836

Delta ht(m) -1.9988

correlations for baseline 1:

|        | dx        | dy        | dz        | trop      | bias 1    | bias 2    |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|        | bias 3    | bias 4    | bias 5    | bias 6    | bias 7    |           |
| dx     | 1.0000000 |           |           |           |           |           |
| dy     | .7881096  | 1.0000000 |           |           |           |           |
| dz     | -.2769638 | -.2473643 | 1.0000000 |           |           |           |
| trop   | .0000000  | .0000000  | .0000000  | 1.0000000 |           |           |
| bias 1 | -.9103049 | -.9560335 | .2744733  | .0000000  | 1.0000000 |           |
| bias 2 | -.9104948 | -.9582860 | .2301434  | .0000000  | .9875114  | 1.0000000 |
| bias 3 | .6272206  | .7639168  | -.7424012 | .0000000  | -.7215502 | -.7034469 |
|        | 1.0000000 |           |           |           |           |           |
| bias 4 | -.3844308 | -.1994420 | -.6772932 | .0000000  | .3051482  | .3376708  |
|        | .3428900  | 1.0000000 |           |           |           |           |
| bias 5 | -.9497202 | -.8868019 | .1040903  | .0000000  | .9601648  | .9663891  |
|        | -.5742031 | .4909902  | 1.0000000 |           |           |           |
| bias 6 | .9609436  | .8233874  | -.3970058 | .0000000  | -.9013271 | -.9008479 |
|        | .7566026  | -.2107414 | -.8998863 | 1.0000000 |           |           |
| bias 7 | .8209107  | .8507834  | -.6280889 | .0000000  | -.8623847 | -.8508172 |
|        | .9197130  | .0945985  | -.7699925 | .8993905  | 1.0000000 |           |

|                | Solution   | Sigma |
|----------------|------------|-------|
| dx (m)         | -21.443    | .005  |
| dy (m)         | -8.438     | .005  |
| dz (m)         | -11.344    | .001  |
| trop (%)       | .000       | .000  |
| bias 1 (cycle) | 577957.439 | .027  |
| bias 2 (cycle) | 533335.619 | .040  |
| bias 3 (cycle) | 451126.904 | .013  |
| bias 4 (cycle) | 664730.101 | .012  |
| bias 5 (cycle) | 63868.564  | .031  |
| bias 6 (cycle) | 175841.650 | .019  |
| bias 7 (cycle) | 245440.737 | .019  |

Pseudostatic Processing Bias Information

Interval: 1 Start: 481020.000 Stop: 481645.000

| PRN | Bias | Sigma |
|-----|------|-------|
| 1   | .000 | .000  |
| 21  | .000 | .000  |
| 31  | .000 | .000  |
| 28  | .000 | .000  |
| 25  | .000 | .000  |
| 14  | .000 | .000  |
| 29  | .000 | .000  |

Kinematic or Pseudostatic data intervals

Original Position Start/Stop Times

481020.000 481645.000

484205.000 484805.000

Rdop(norm to 60 sec) is 0.377 (m/cycle)

All Baseline Vectors:

|             | dx(m)   | dy(m)  | dz(m)   | dist(m) | dh(m)  |
|-------------|---------|--------|---------|---------|--------|
| From 1 To 2 | -21.443 | -8.438 | -11.344 | 25.684  | -1.999 |

Interval between epochs (sec) 5.0

Epoch increment 1  
Number of measurements used in solution 1341  
Number of measurements rejected 58  
RMS (cycles) 0.027

Elevation mask (deg) 15.0  
Edit multiplier 3.5  
Modified Hopfield troposphere model used

Best tracking C/A code positions

Station 1

Pdop 2.3  
x (m) 3763790.716 lat (dms) S 25 26 53.32596  
y (m) -4365109.539 elon (dms) E 310 46 9.72111  
z (m) -2724387.999 wlon (dms) W 49 13 50.27889  
ht (m) 938.7090  
clock offset(s) .65856679D-03  
freq offset(s/s) .77786185D-06

|       | Code calibration(m) | Carrier calibration(m) |
|-------|---------------------|------------------------|
| 0 - 1 | -0.3223             | 0.0008                 |
| 0 - 2 | 0.0024              | 0.0000                 |
| 0 - 3 | 0.0342              | 0.0002                 |
| 0 - 4 | -0.6563             | 0.0011                 |
| 0 - 5 | -2.6182             | 0.0004                 |
| 0 - 6 | -5.8174             | 0.0005                 |
| 0 - 7 | -6.0024             | 0.0015                 |
| 0 - 8 | -5.9658             | 0.0006                 |
| 0 - 9 | -5.8970             | 0.0007                 |

Station 2

Pdop 2.1  
x (m) 3763761.313 lat (dms) S 25 26 53.11051  
y (m) -4365084.864 elon (dms) E 310 46 9.50084  
z (m) -2724362.626 wlon (dms) W 49 13 50.49916  
ht (m) 893.5947  
clock offset(s) .86697107D-03  
freq offset(s/s) .93261635D-06

|       | Code calibration(m) | Carrier calibration(m) |
|-------|---------------------|------------------------|
| 0 - 1 | -0.0161             | 0.0007                 |
| 0 - 2 | 0.0547              | 0.0002                 |
| 0 - 3 | 0.2036              | 0.0001                 |
| 0 - 4 | 0.0615              | 0.0010                 |
| 0 - 5 | 0.1533              | 0.0003                 |
| 0 - 6 | 0.3638              | 0.0003                 |
| 0 - 7 | 0.2788              | 0.0012                 |
| 0 - 8 | 0.3408              | 0.0005                 |
| 0 - 9 | 0.7227              | -0.0033                |



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 ANDRADE, J.B. NAVSTAR - GPS. Curso Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPr, Curitiba, 1988.
- 02 \_\_\_\_\_ ; GEMAEL, C. Métodos de posicionamento geodésico com GPS. In : XV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. (1989:Gramados). Anais. Rio Grande do Sul. v.1, 1989. p. 195-199.
- 03 ASHKENAZI, V ; YAU, U. Significance of discrepancies in the processing of GPS data with different algorithms. Bulletim Géodésique. v.60. n.3, 1986. p. 229-239.
- 04 CAMPOS, M.A. Posicionamento com GPS . Projetos e Resultados. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPr, 1989.
- 05 CANNON,E. High accuracy GPS semikinematic positioning modelling and results. Navigation. v.37. n.1, 1990. p. 53-64.
- 06 DA SILVA, A.J. O uso do GPS nas medições geodésicas de curta distância. Curitiba, 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas UFPr, 1990.
- 07 FILL, P. Transit and GPS - A report on geodetic positioning activities. Bulletin Géodésique. v.60. n.3, 1986. p. 101-122.
- 08 GEMAEL, C. Geodésia celeste: introdução. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr, Curitiba, 1991.
- 09 GOAD, C. A kinematic survey of Clinton Lake Dam. Ohio State University. Columbus, 1988.
- 10 \_\_\_\_\_, C. ; REMONDI, B.W. Initial relative positioning results using the global positioning system. Bulletin Géodésique. v.58. n.4, 1984. p. 193-210.

- 11 GRIPP, J.J. Calibração de distanciômetros eletrônicos com medidas de campo. Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Geociências). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPr, 1986.
- 12 KIHARA, M ; OKADA, T. A satellite selection accuracy for the Global Positioning System. Navigation. v.31. n.1, 1984. p. 8-20.
- 13 KLEUSBERG, A. A review of kinematic and static GPS surveying procedures. University of New Brunswick. Canada, 1990.
- 14 MADER, G.L. Dynamic positioning using GPS carrier phase measurements. Manuscripta Geodaetica. v.11. n.4, 1986. p. 272-277.
- 15 \_\_\_\_\_. Ambiguity function techniques for GPS phase initialization and kinematic solutions. National Geodetic Survey. Rockville, [199-].
- 16 MAHER, A.R. A comparision of multichanel, sequential and multiplex GPS receivers for air navigation. Navigation. v.31. n.2, 1984. p. 96-111.
- 17 MASSATT, P ; KARL, R. Geometric formulas for dilution of precision calculations. Navigation. v.37. n.4, 1990-1991. p. 379-391.
- 18 OSZCZAK, S. Pseudo-kinematic surveying with Ashtech MD-XII receivers. Olsztyn, Poland, [1991?].
- 19 QUIRION, CH.A. Automed kinematic GPS post - processing for high productions surveys. Trimble Navigation. Sunnyvale, California, 1988.
- 20 REMONDI, B.W. Kinematic and pseudo-kinematic GPS. Colorado Springs, Colorado, 1988.
- 21 \_\_\_\_\_. Pseudo-kinematic GPS results using the ambiguity function method. National Geodetic Survey. Rockville, 1990
- 22 \_\_\_\_\_. Performing centimeter accuracy relative Surveys in seconds using GPS carrier phase. In : INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PRECISE POSITIONING WITH THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM. (1985:Rockville). Proceeding, v.2, 1985.
- 23 \_\_\_\_\_. Performing centimeter-Level surveys in seconds with GPS carrier phase. Initial results. Navigation. V.32. n.4, 1985 - 1986. p. 386-400.

- 24 RODRIGUES, D. Uma análise da geometria oferecida pela constelação final do sistema GPS, para posicionamento por ponto. Curitiba, 1989. Dissertação (Mestrado em Geociências). Curso de Pos-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPr, 1989.
- 25 SEEGER, G. Satellite geodesy. University of Hannover. Germany, 1993.
- 26 \_\_\_\_\_. G. The global positioning system and its use in geodesy and geodynamics. Hannover, University Hannover. Institut Für Erdmessung, 1986.
- 27 \_\_\_\_\_, G ; WÜBBENA, C. Kinematic positioning with carrier phases and "On the Way" ambiguity solution. Institut Für Erdmessung, Universität Hannover, 1989.
- 28 TRIMBLE NAVIGATION. A field guidebook for dynamic surveying. Sunnyvale-California, 1991.
- 29 \_\_\_\_\_. Model 4000SST GPS surveyor, Operation Manual. Revision C, Sunnyvale- California, 1991.
- 30 \_\_\_\_\_. Practical aspects of kinematic surveying. Sunnyvale-California. September 21-23, 1988.
- 31 \_\_\_\_\_. Trimvec-Plus GPS survey software. User' Manual and Technical Reference Guide. Revision D.1, Sunnyvale-California, 1991.
- 32 TSENG, Ch.L ; LIOU, J.N. Experiment with using rapid GPS surveying. approach applied to consolidation planing. Tainan, Taiwan, [199-].
- 33 WELLS, D. Guide to GPS positioning. Canadian GPS Associates. Canada, 1987.